

昼光利用照明設計のための基礎研究（その8）

—大阪とスウェーデンの6月における昼光の比較—

中根 芳一¹・Hans Allan Löfberg²・北本 裕之³・土井 正¹・金 恵英³

Study on Lighting Designing Based on Daylight (Part 8)

—Comperison Between Characteristics of Daylight

in Sweden and Those of Osaka in June. —

Yoshikazu Nakane, Hans Allan Löfberg,
Hiroyuki Kitamoto, Tadashi Doi and Hye Young Kim.

はじめに

照明設計において昼光は、その不確実性の為無視されてきた。特に直射日光は変動が激しいため、むしろ遮断されてきたと言える。しかし直射日光は莫大な光エネルギーを持ち、これを有効に利用することはエネルギー政策上、重要である。そこで筆者らは変動の激しい直射日光も含めて、昼間の照明に利用するための照明設計法の確立を目指して研究してきた。

筆者の一人（中根）は1990年3月末から7月初めに掛けてヨーロッパの低緯度地方のイタリア、中緯度のドイツ、更に高緯度のスウェーデンにわたって昼光の利用状況について調査する機会を得た。その時スウェーデンでは北本及びLöfbergと共同して昼光の実測も併せて行った。この実測結果に基づいて、従来筆者らが行ってきた大阪での実測結果と比較することによって、スウェーデンでの昼光の特徴を考察する。

I. スウェーデンでの昼光実測

1. 実測方法

測定機の設置場所：北緯60° 47'，東経17° 10'，地上10m，スウェーデンの Gävle にある国立建築研究所の屋上の観測台上に照度計（ミノルタ社製 T-1 M）を

設置し、全昼光照度と天空照度のアナログ出力をパーソナル・コンピュータ（NEC98note）を用いてデータ収録装置（白山工業製，DATAMARK LT2001）に、6月13日～6月28日の間、5分間隔で連続記録した。天空照度はスウェーデン国立建築研究所のワークショップで作製した遮蔽バンド（図1）で直射日光を遮断して測定し、後で天空を均一拡散光源と仮定して補正することによって求めた。

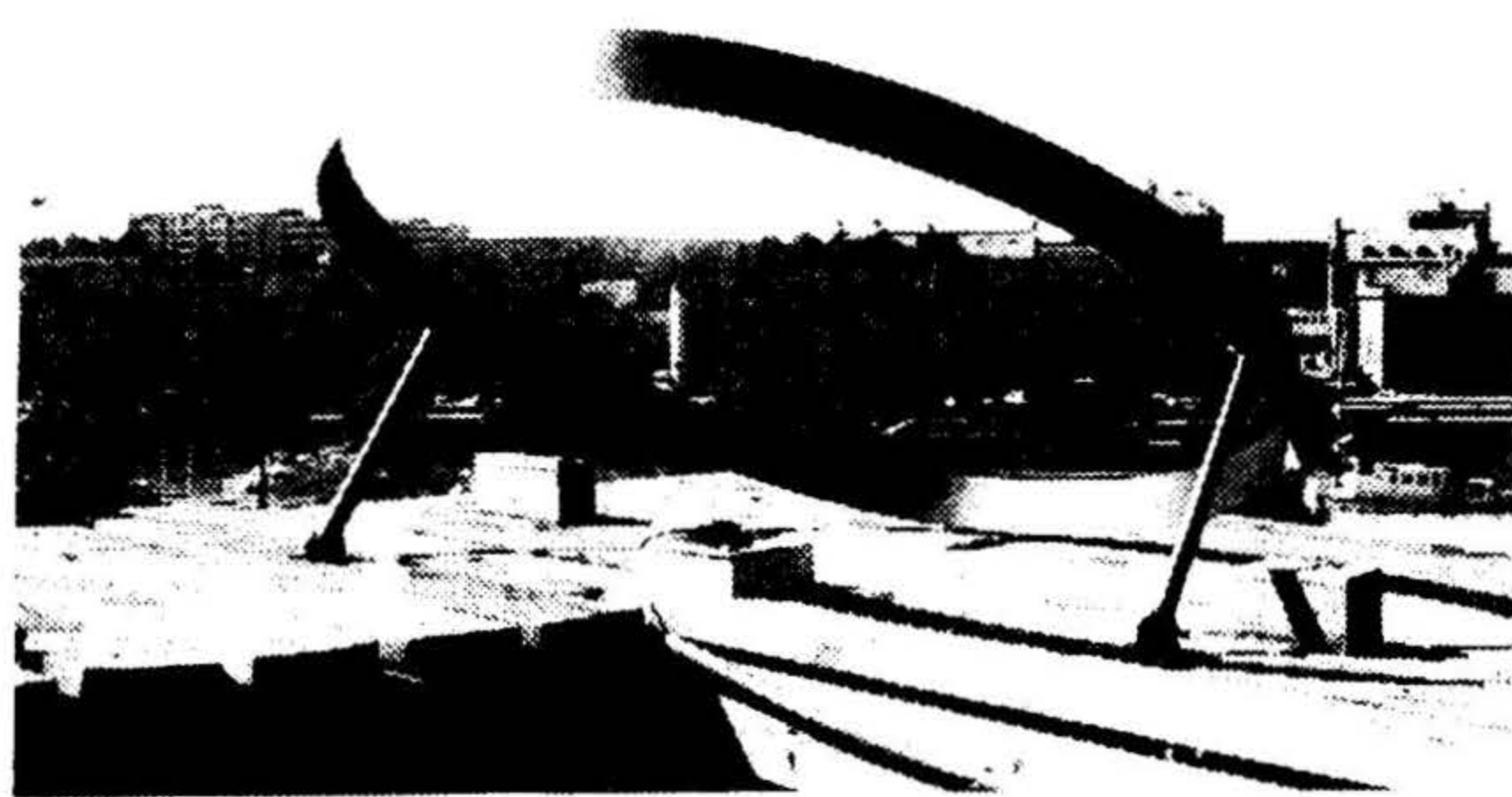


図1 遮蔽バンドを使用しての天空光照度の測定状況

2. 実測結果

測定した天空光照度、直射日光照度及び全昼光照度を図2～図3に示す。尚、大阪での測定結果に基づく天気の種類に従って、天気を午前と午後に分けて、(a)～(c)に大別した結果も図中に示した。

ただし、(a)は快晴、(b)は曇り、(c)は曇り又は雨である。

- 1 大阪市立大学生活科学部
- 2 スウェーデン国立建築研究所
- 3 大阪市立大学生活科学研究科院生

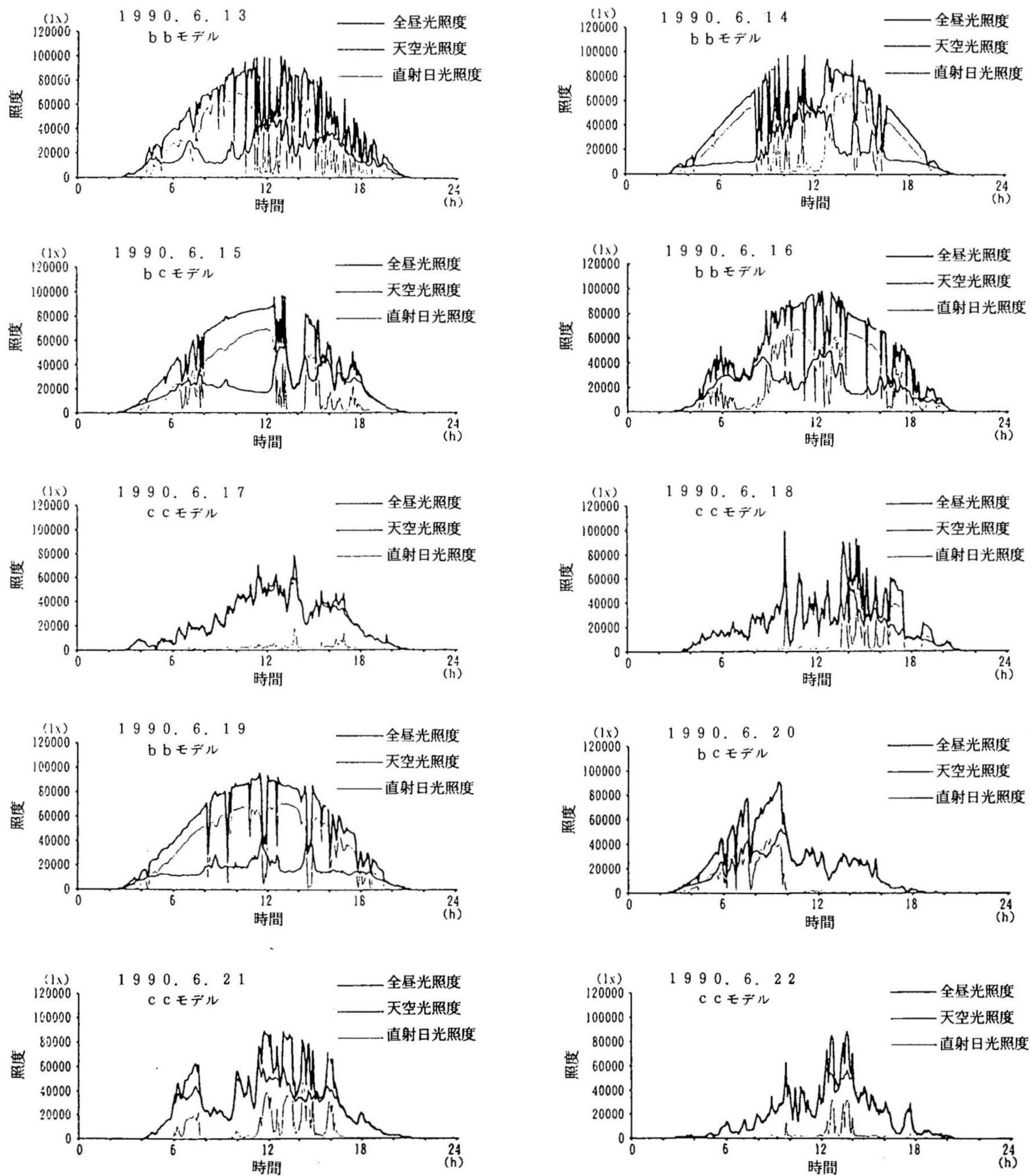


図2 Gävleでの6月の実測値

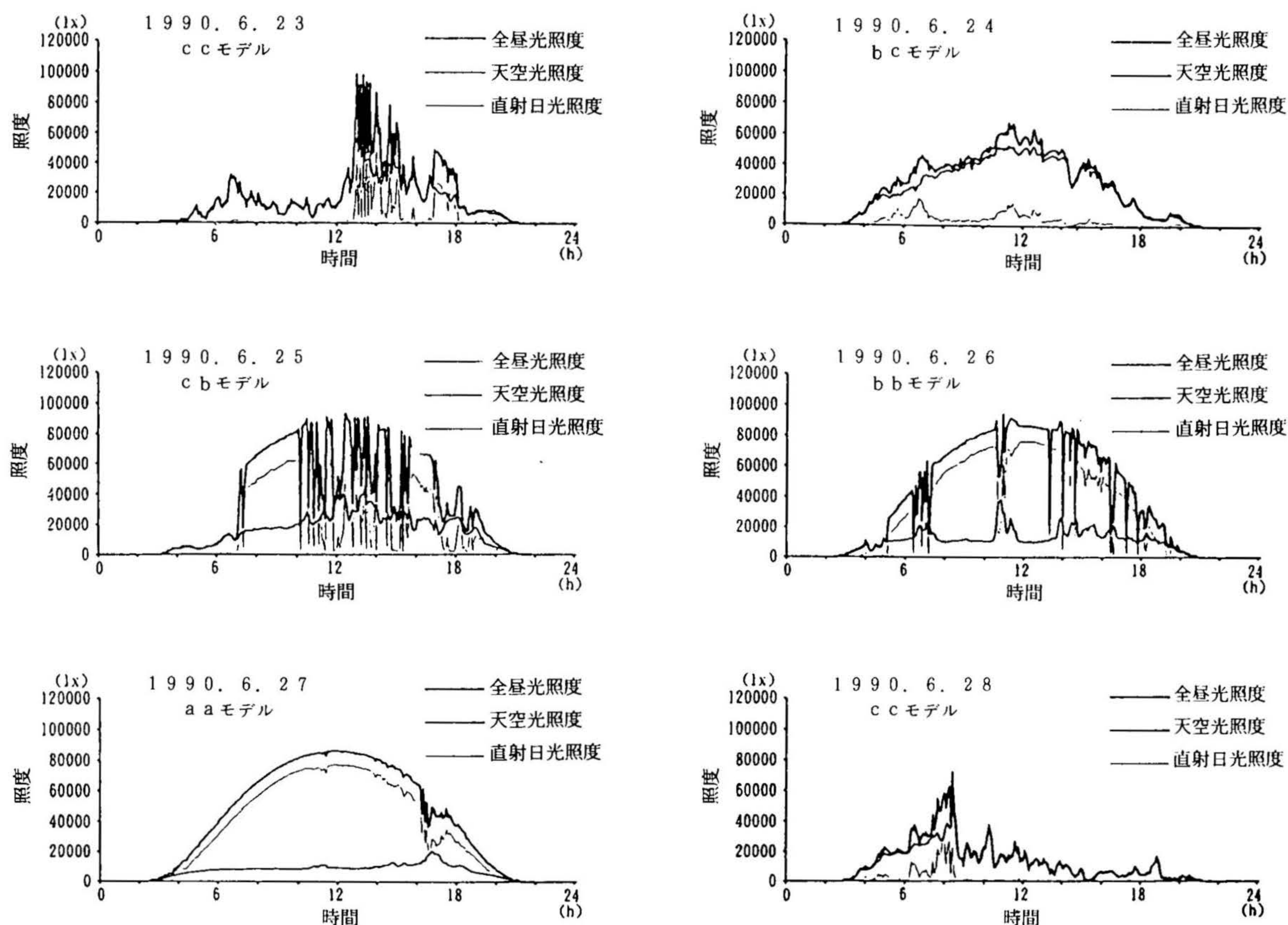


図3 Gävleでの6月の実測値

Gävle の位置が北緯61度近くであり、しかも測定期間が夏至を挟んだ16日間であるため、図では分かり難いが、夜間の最低照度でも 80lx 以上あり、夏至の日の Gävle に於ける日の出は午前2時頃であり、日の入りは午後10時頃である。

II. Gävle と大阪との昼光照度の比較

1. 大阪の昼光照度

大阪の6月の代表的な昼光照度の例を各天気分類毎に図4に示す。大阪に於ける昼光の測定は午前6時から午後6時の間行われ、午後6時から午前6時までの間は値がないので、図では測定値の裾野の部分が6時の所で切り立った様になっている。Gävle の夏至前後に於ける南中時の太陽高度は約52度となり、大阪での3月又は10月の南中時の太陽高度に略等しい。そこで大阪に於ける3月の昼光照度の例を図5に、また10月の例を図6に示す。

2. 照度の累積出現頻度から見た比較

大阪と Gävle に於ける6月の昼間(6:00~18:00)の昼光照度の累積頻度分布図を図7に示す。Gävle で

は約40,000~90,000lx の全昼光照度の出現率が大阪よりも高いことが累積頻度曲線の勾配が急であることから解る。約90,000lx 以上の全昼光照度は殆ど出現していない。Gävle のみ測定値の在る夜間(18:00~翌6:00)の各照度の累積頻度分布を図8に示す。白夜に近い状態で、夜間でも最低80lx 以上の照度のある Gävle での特に直射日光照度で約3,000lx 以下の低照度の出現頻度の高いことが解る。

6月の Gävle と南中時の太陽高度が略等しい大阪の3月及び10月の昼光照度の累積頻度分布比較図を図9、図10に示す。明らかに大阪では6月とは異なって3月及び10月の昼光照度は、全昼光照度・天空光照度・直射日光照度とも Gävle の6月の値の方が高い。これは南中時の太陽高度は略等しくても、全体的に太陽高度の高い Gävle の昼光照度が高くなった為である。

3. 昼光に及ぼす大気の状態の比較

雲の影響を受けず、昼光に及ぼす大気の状態が最も比較し易い快晴時のデータから Gävle と大阪の大気を、昼光利用と言う観点から昼間のデータに基づいて検証する。

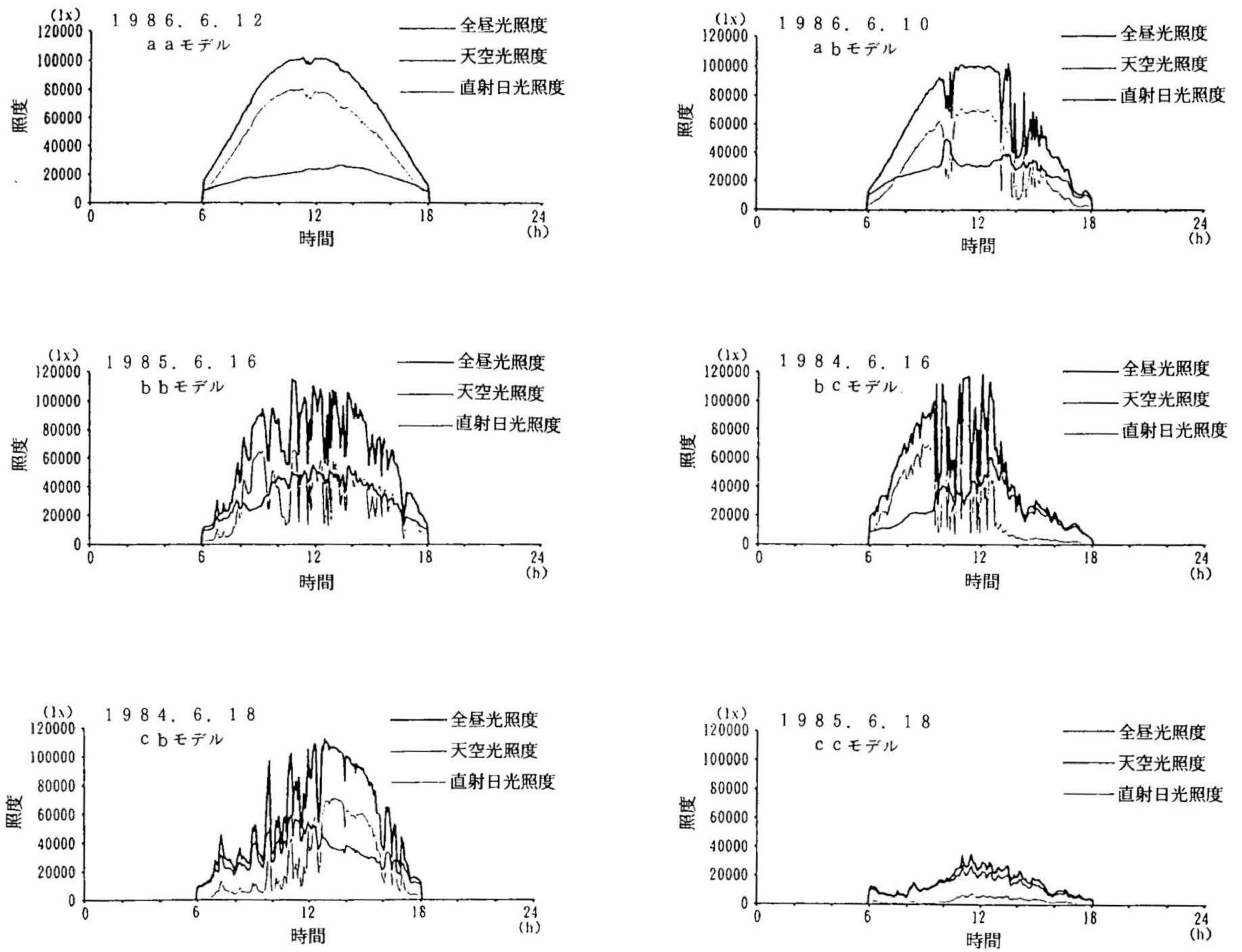


図4 大阪の6月の各モデル別昼光照度

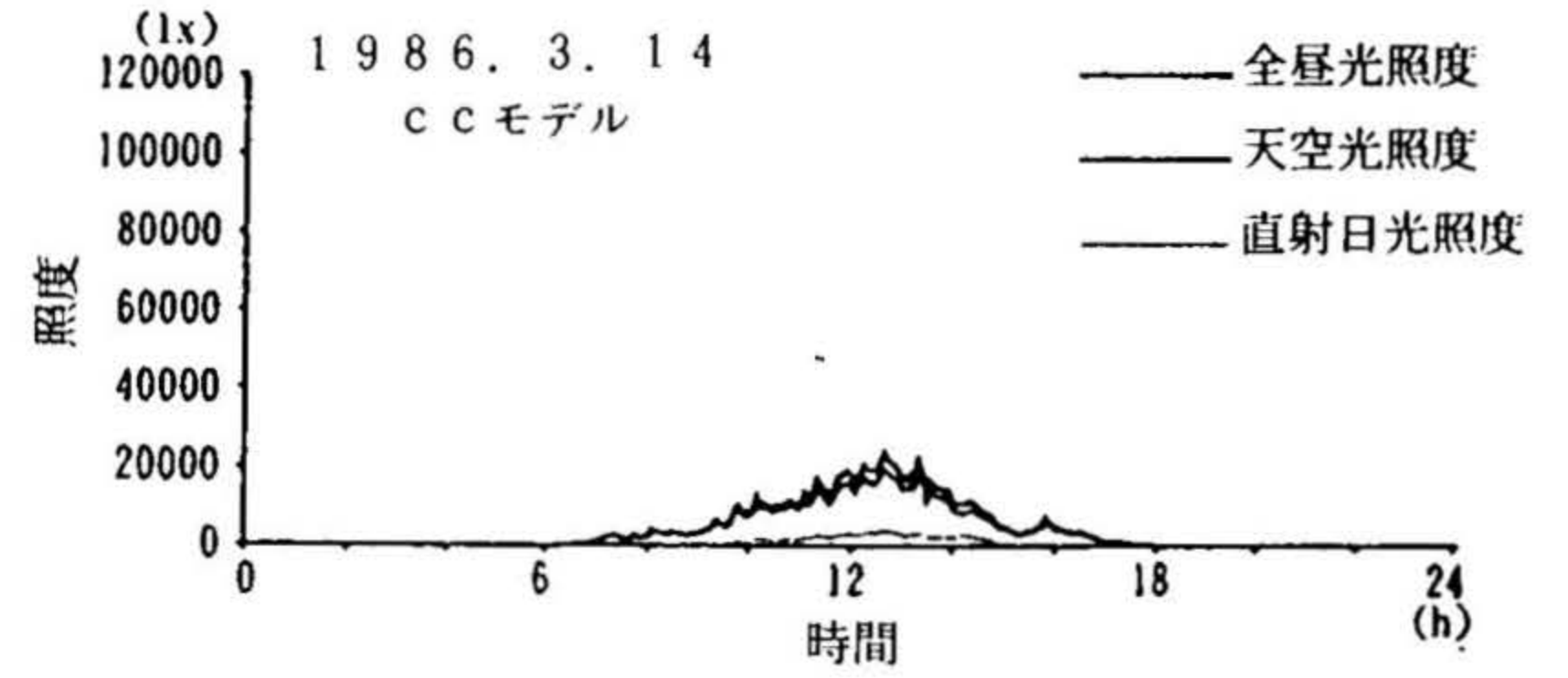
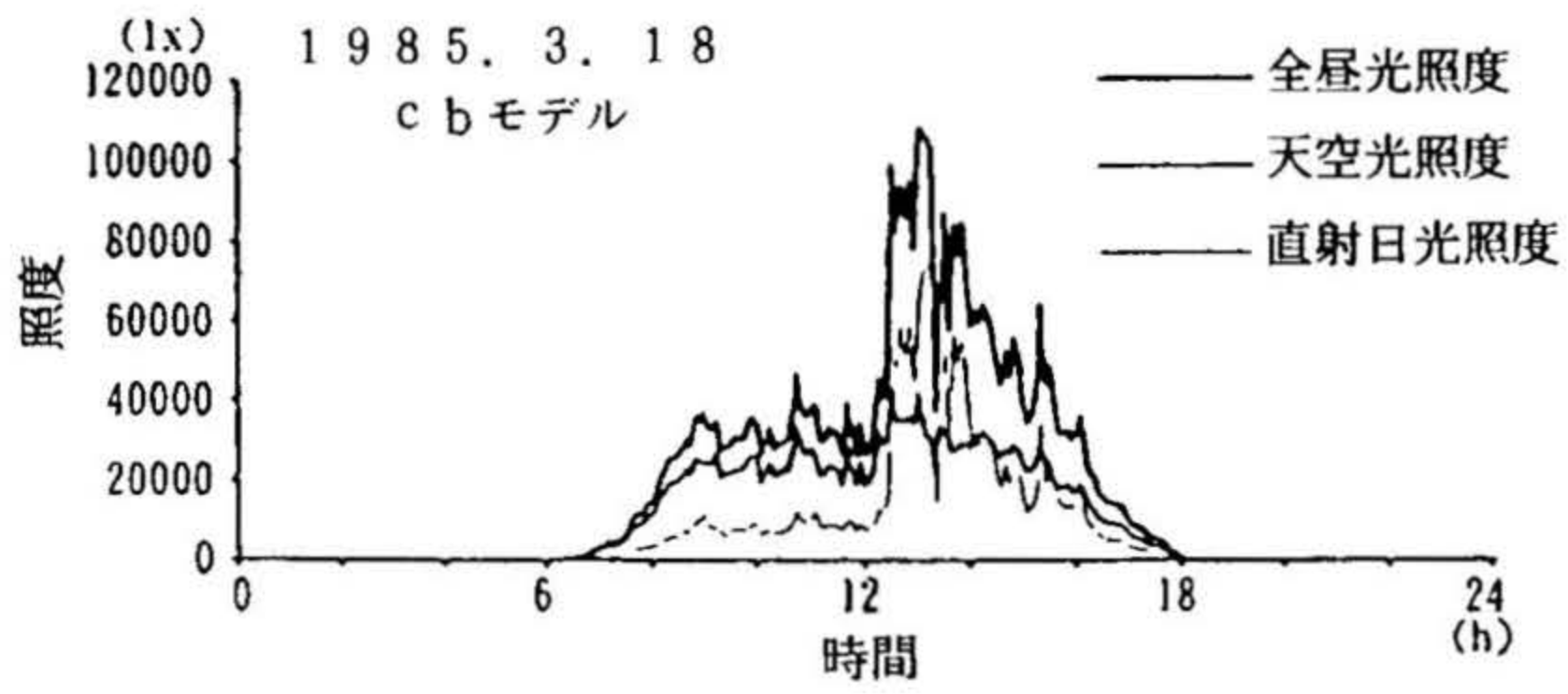
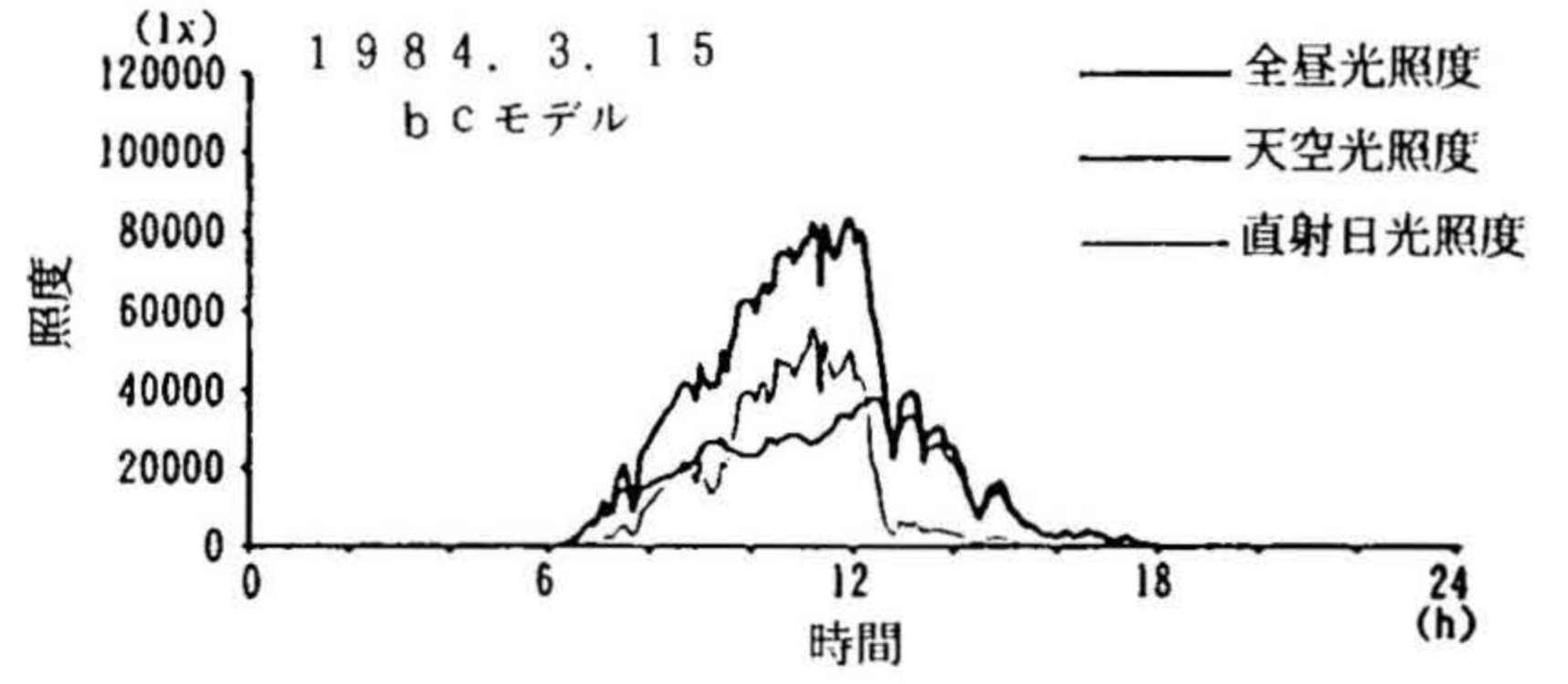
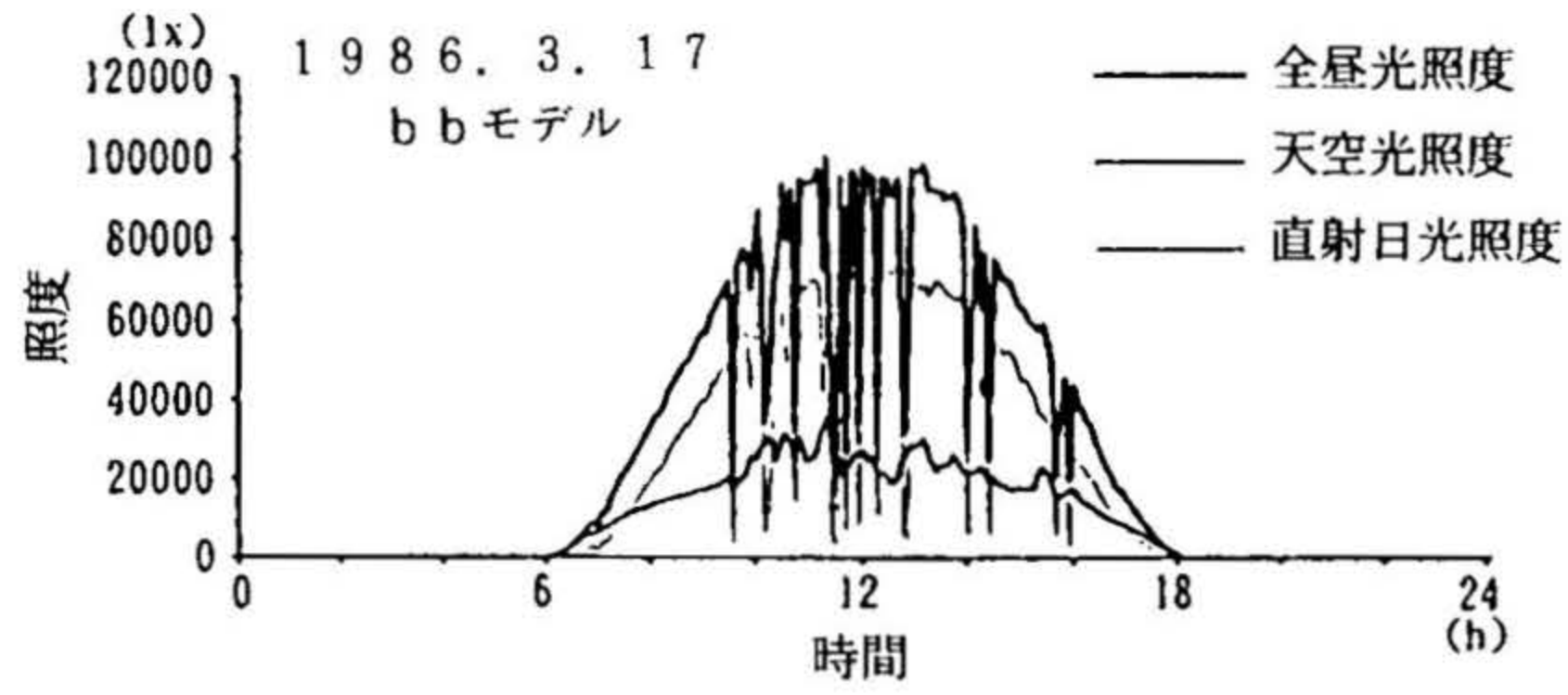
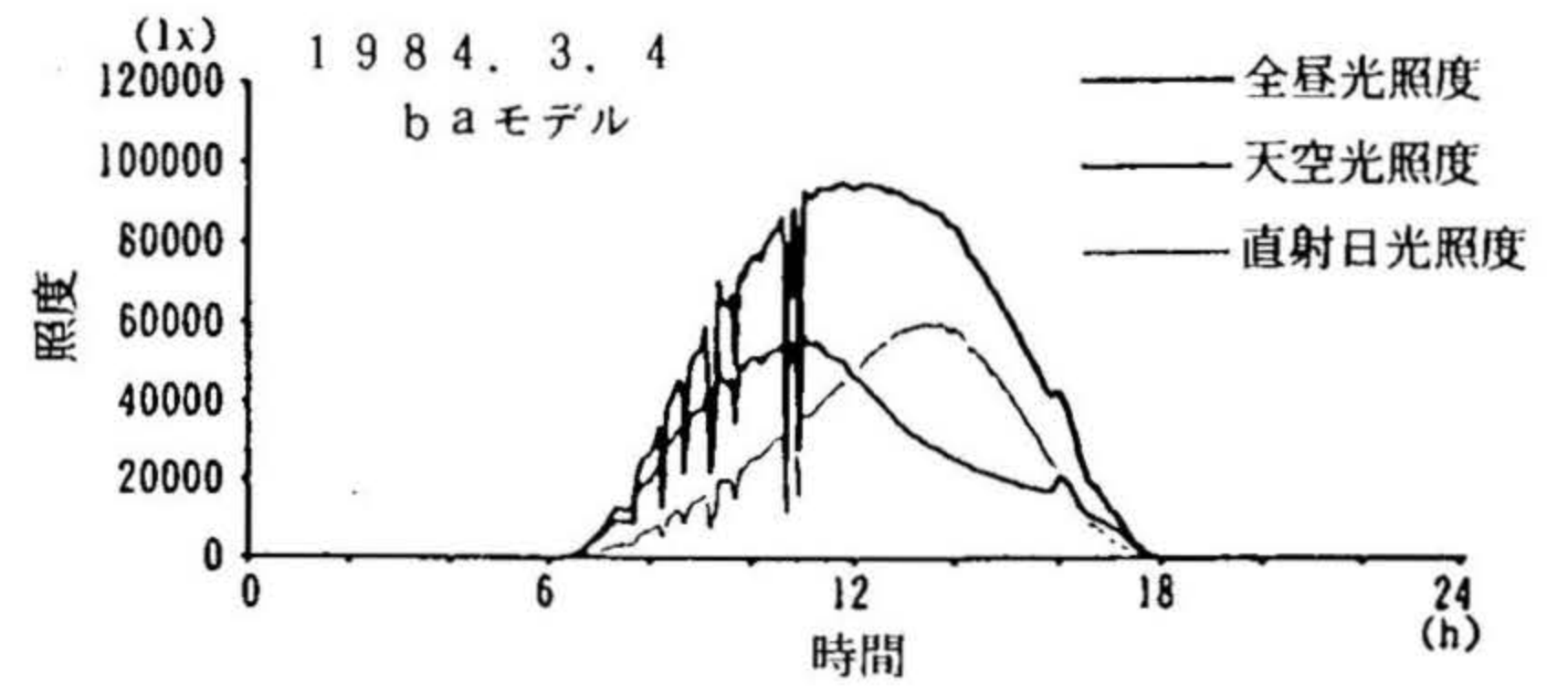
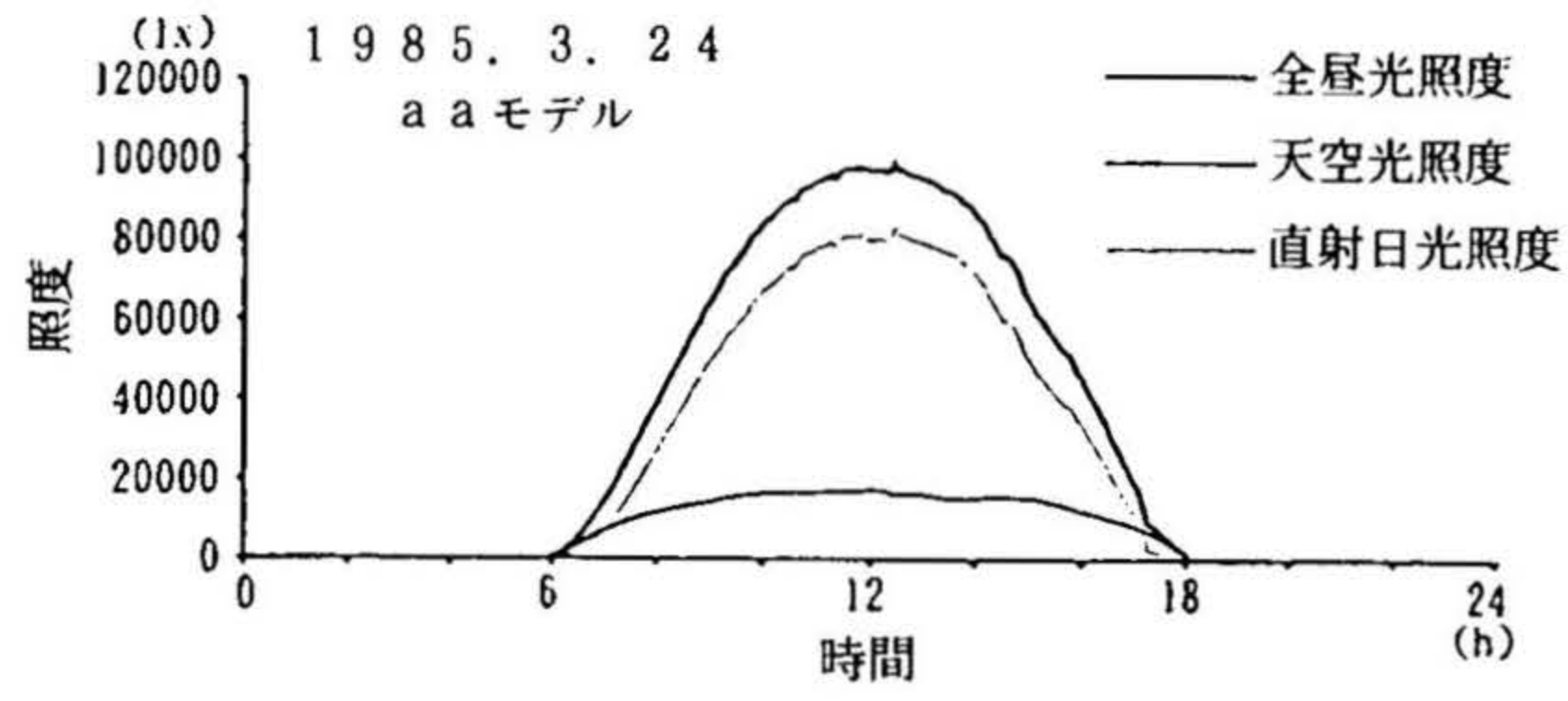


図5 大阪の3月の各モデル別昼光照度

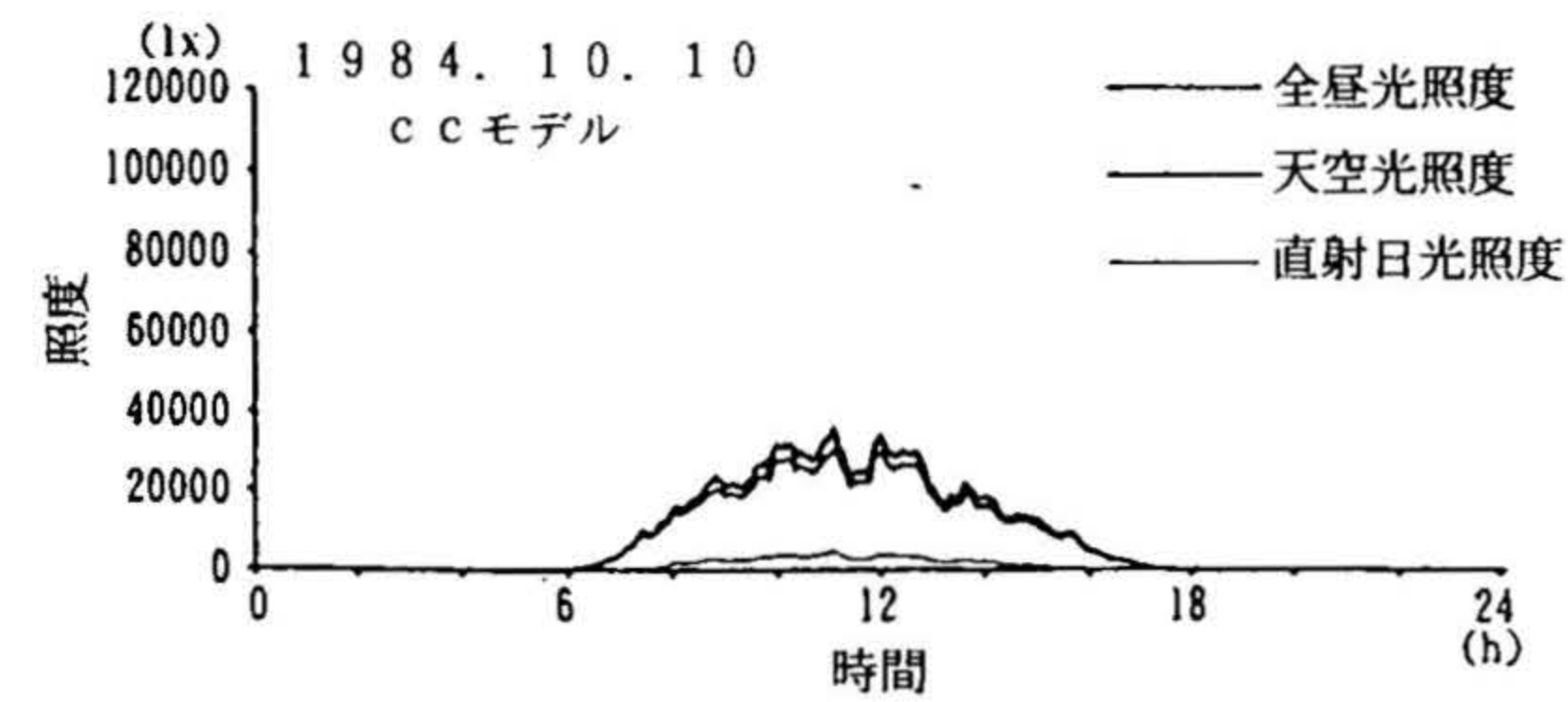
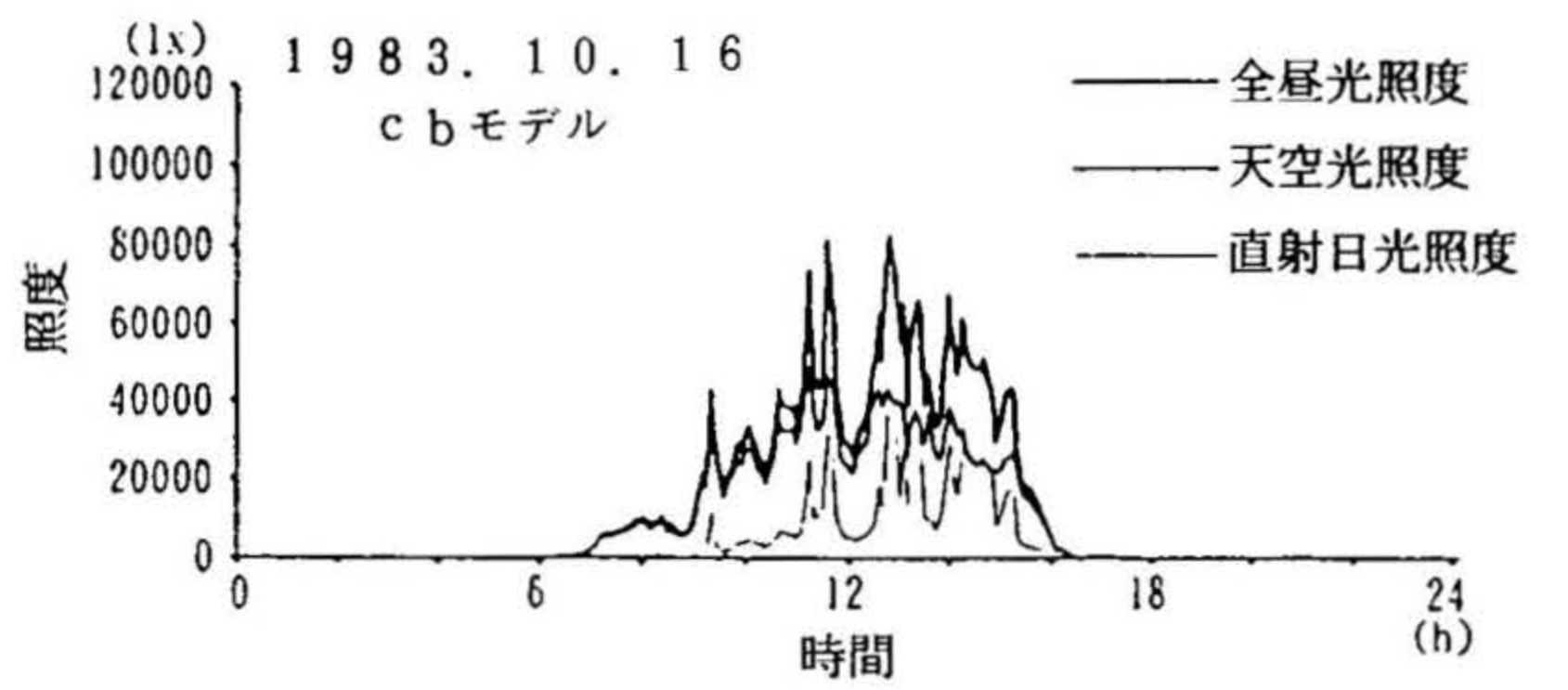
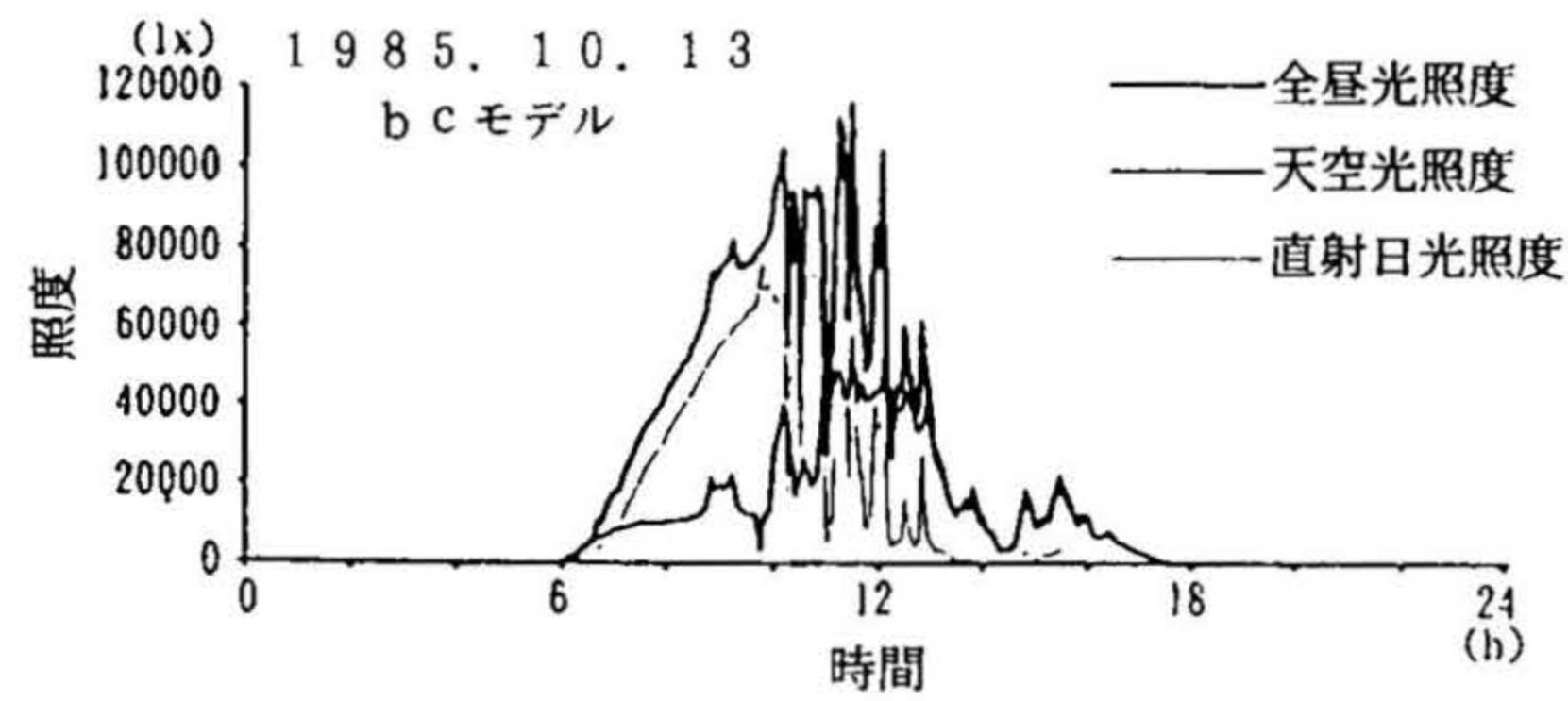
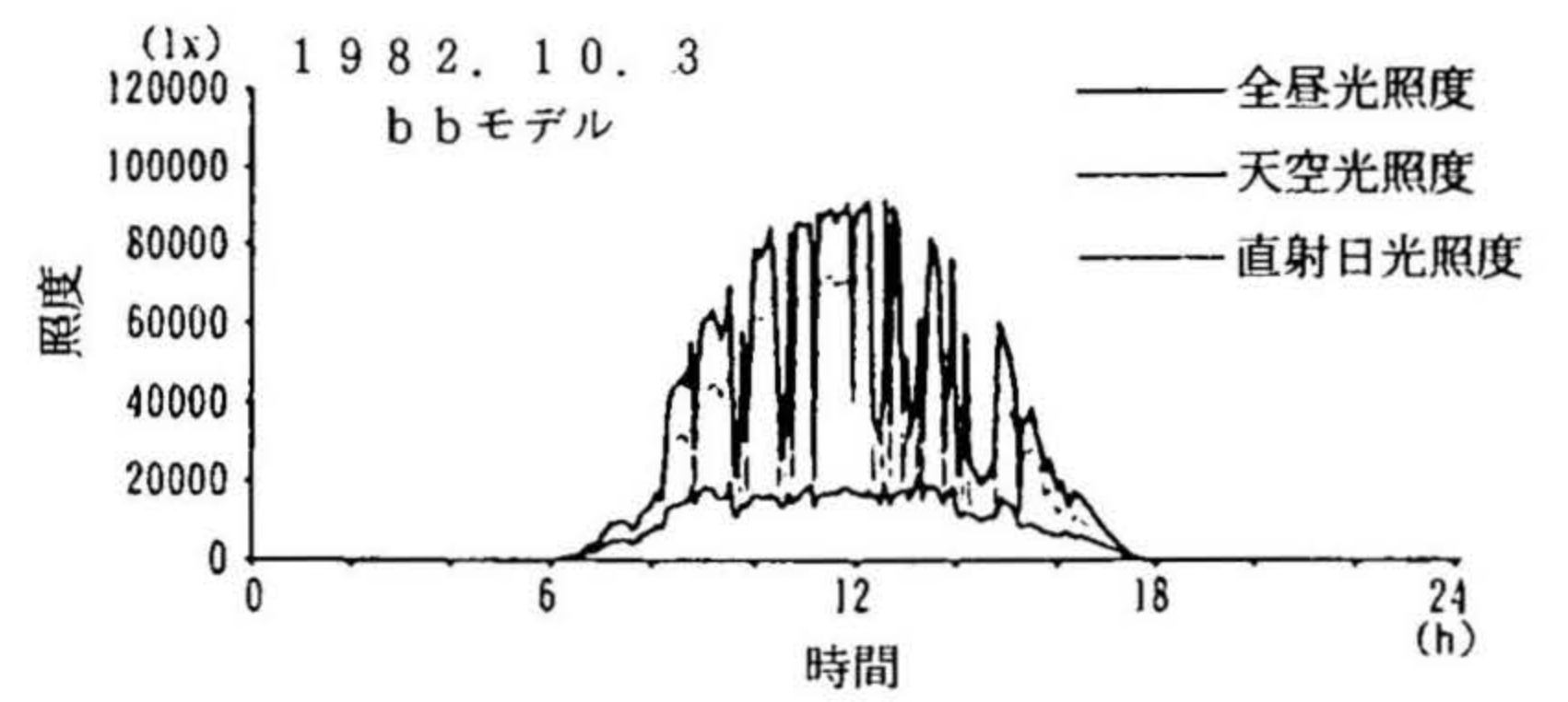
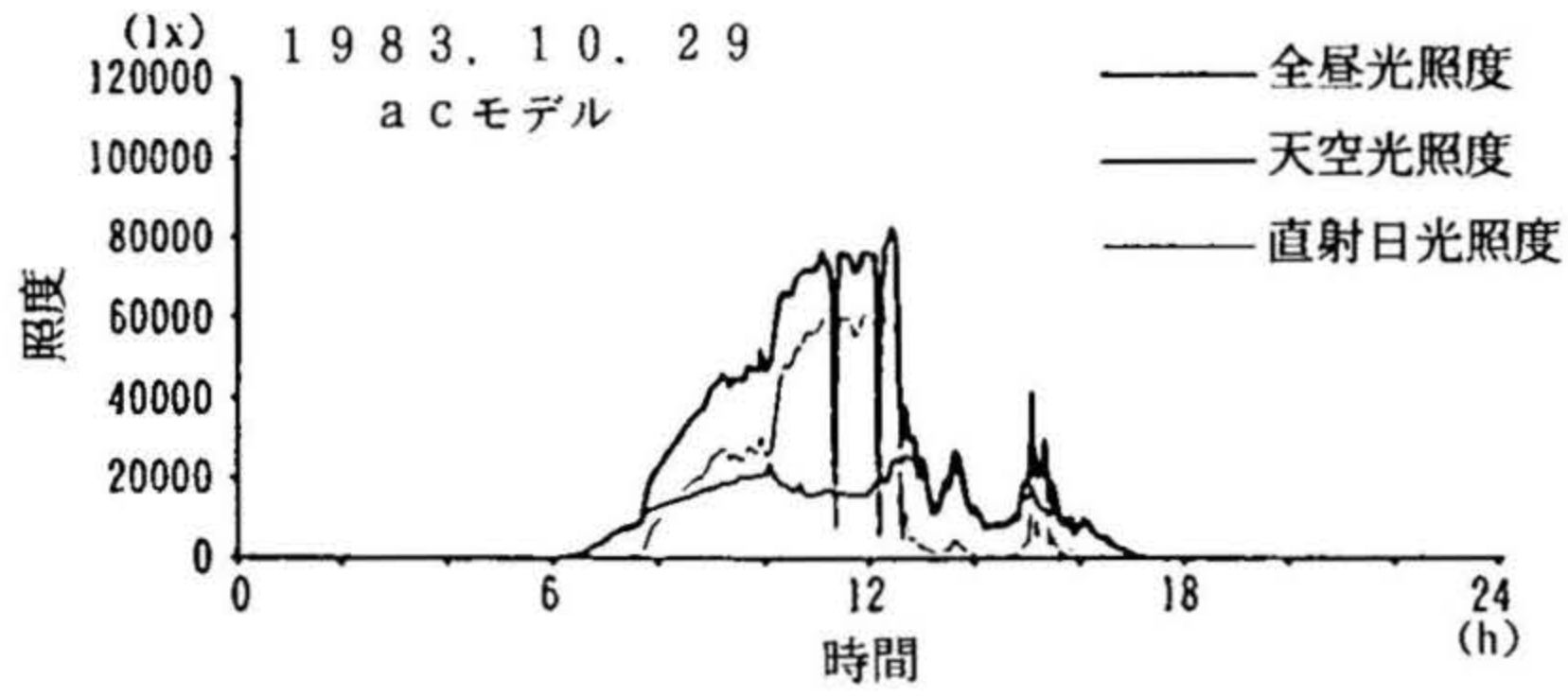
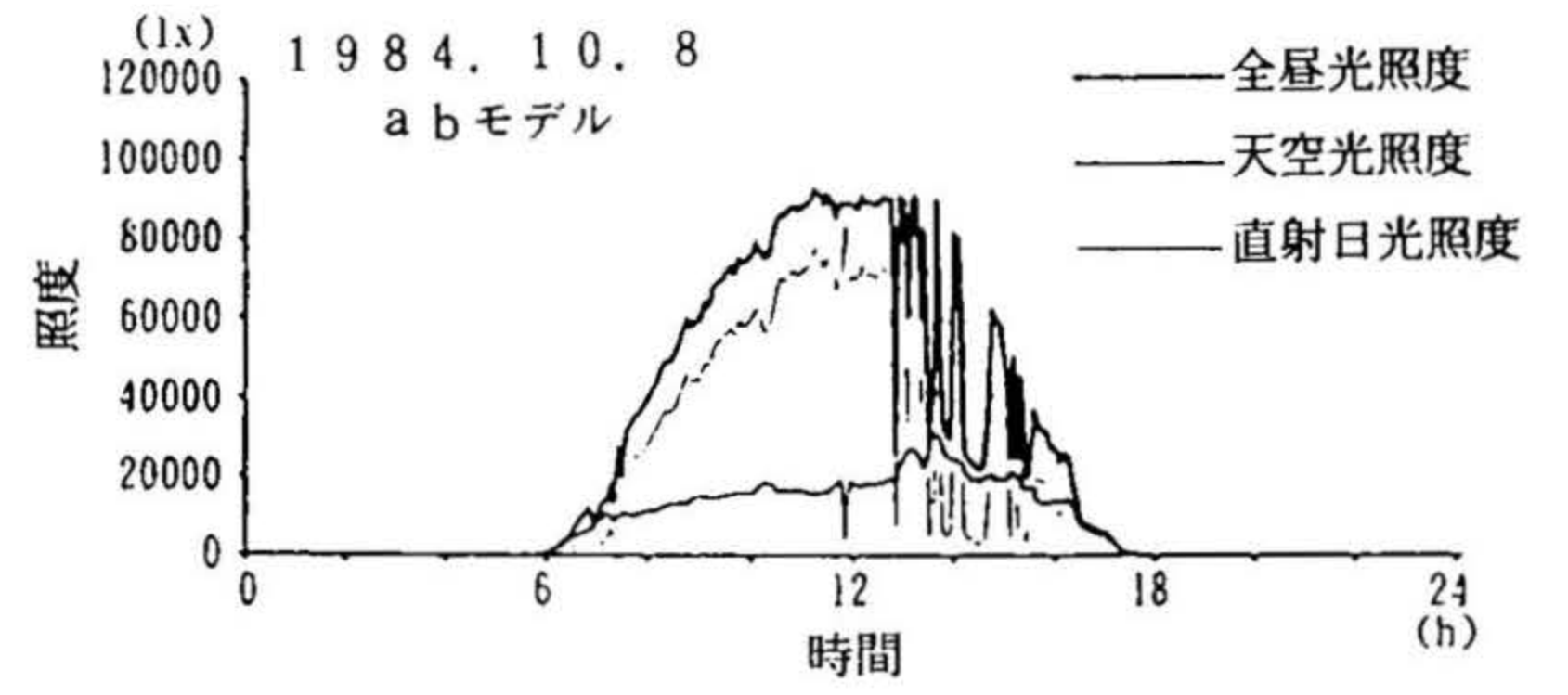
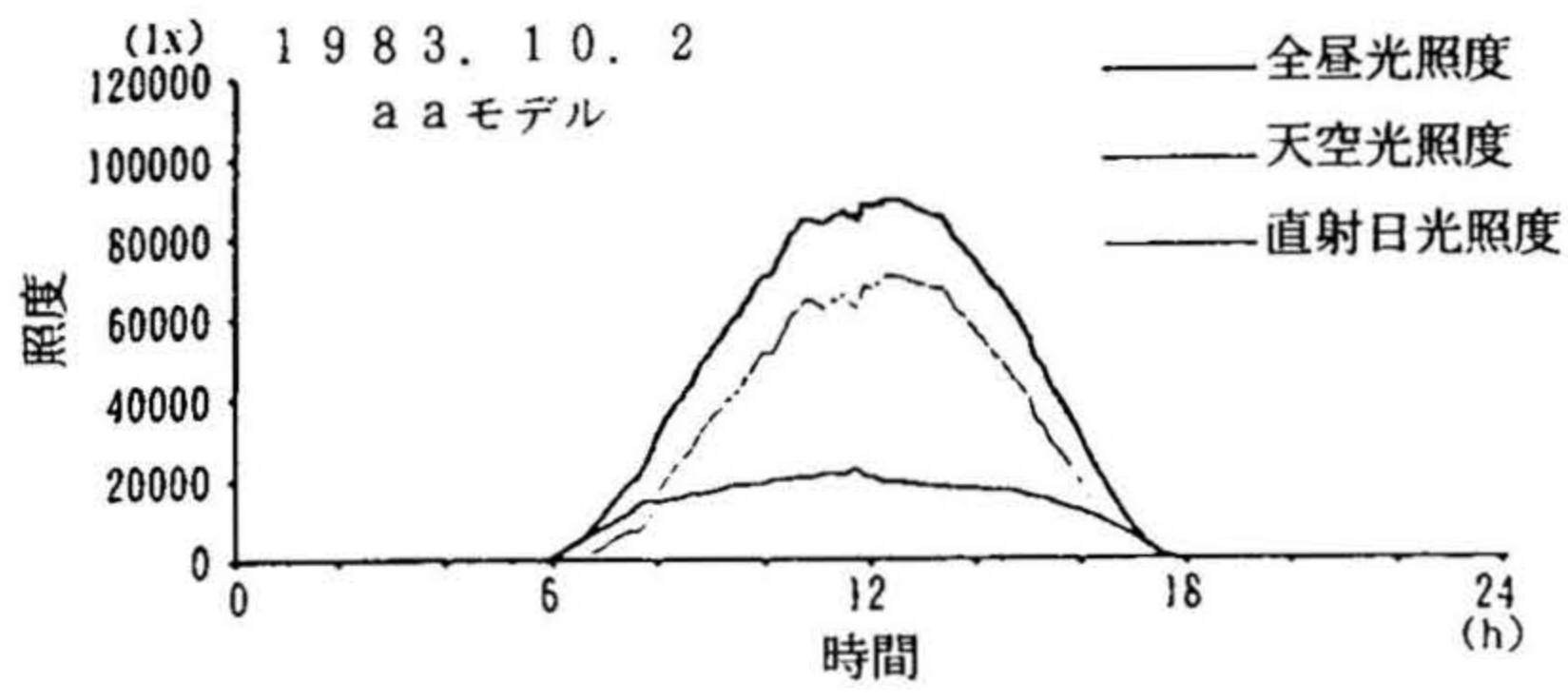


図 6 大阪の10月の各モデル別昼光照度

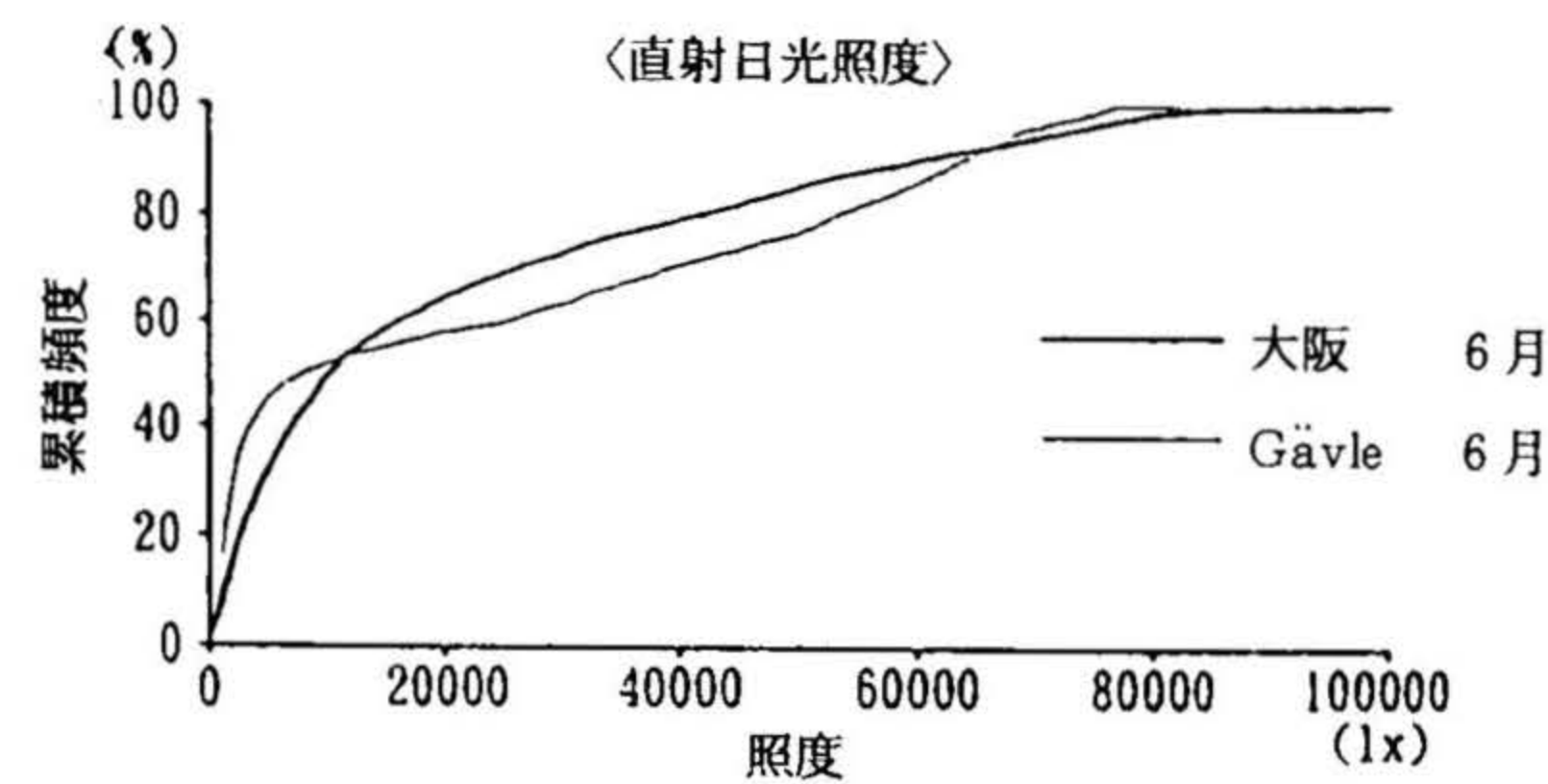
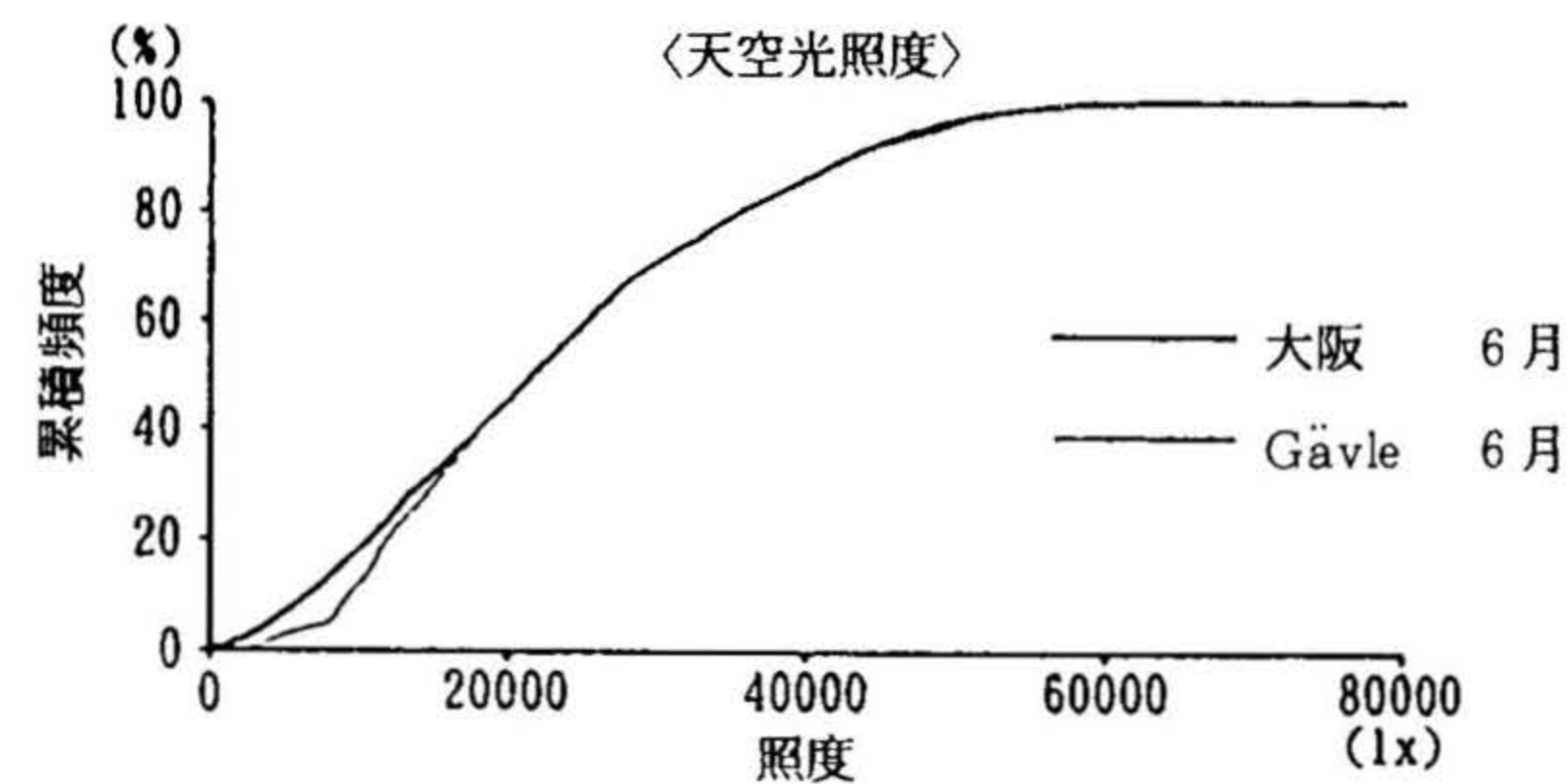
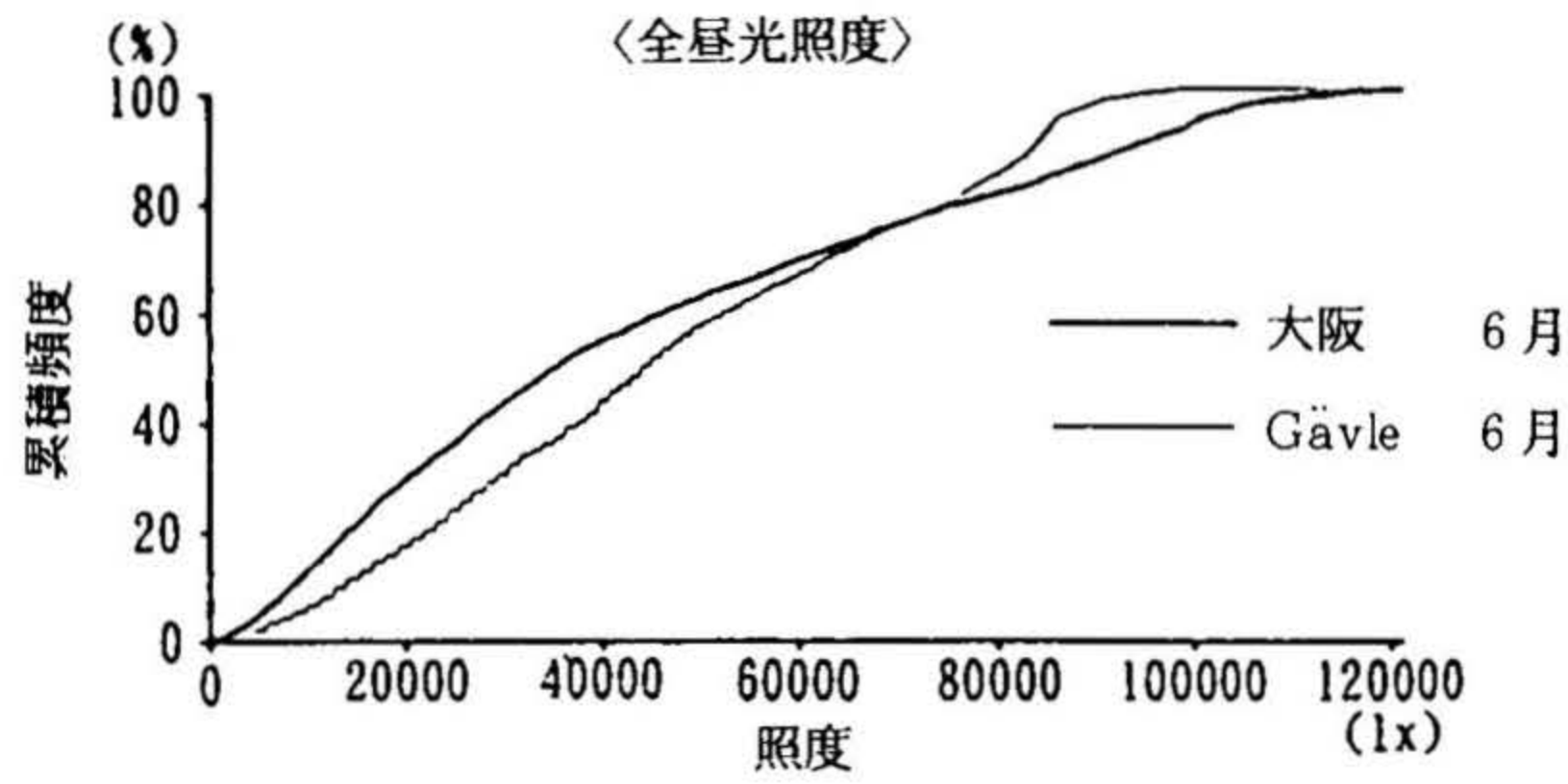


図7 昼間(6:00~18:00)の各照度の累積頻度分布

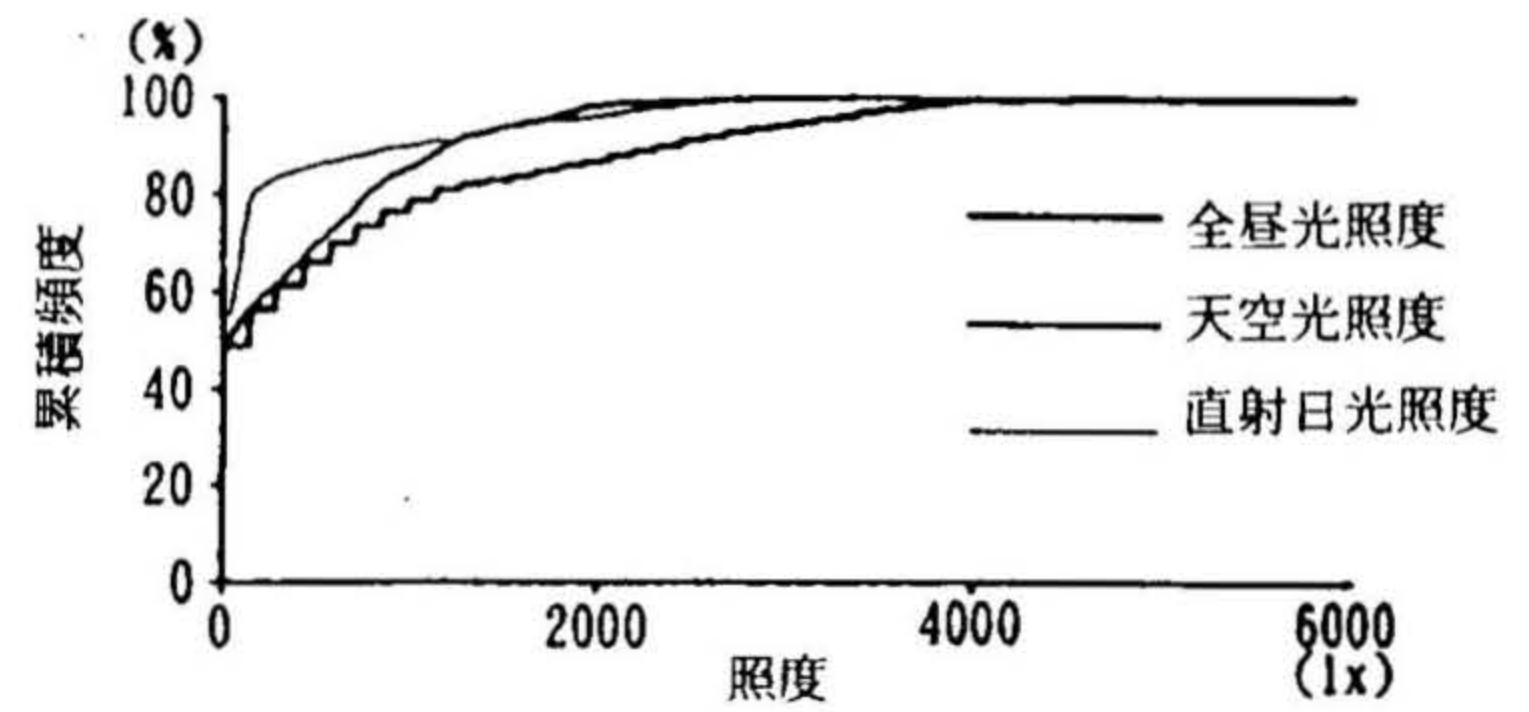


図8 Gävleの夜間(18:00~翌6:00)の各照度の累積頻度分布

6月のGävleの快晴時の全昼光照度と直射日光照度の関係を図11に示す。また大阪の6月、3月、10月の快晴時の全昼光照度と直射日光照度の関係を図12に示す。

全昼光照度と直射日光照度を直線で回帰したときの勾配を比較すると、Gävleは1.0671で、一方大阪の6月、3月、10月はそれぞれ0.8447、0.8662、0.8136となる。勾配が緩い方が同じ直射日光照度の場合でも、全昼光照度が高くなることを示し、大気中での光の散乱が多い事を意味する。即ち光を散乱させる原因になる大気中に含まれる水蒸気や塵埃などが多い事を表している。この事からGävleの6月の大気は大阪の6月、3月、10月の大気に較べて、水蒸気や塵埃が少なく、大阪の全昼光照度が何れも10万ルクス位まで達しているのに対し、9万ルクスに達しない原因と考えられる。直射日光照度が8万ルクスの時、Gävleの全昼光照度は約9万ルクスであるのに対し、大阪の全昼光照度は、6月、3月、10月何れも約10万ルクスに達している。快晴日の6:00~18:00の時間帯では夏至前後ということも在って、最低全昼光照度はかなり高い。特にGävleでは約35,000lx以上もあるのが特徴的である。

この事は太陽光を直散分離したことになる直射日光照度と天空光照度との関係を見るとなお一層明確である。6月のGävleの快晴時の天空光照度と直射日光照度の関係を図13に、また大阪の6月、3月、10月の快晴時の天空光照度と直射日光照度の関係を図14に示す。Gävleでは直射日光照度が8万ルクス近くになっても天空光照度は9千ルクスに達していない。大阪では直射日光照度が8万ルクスの場合、天空光照度は6月、3月、10月それぞれ22千ルクス、17千ルクス、20千ルクスとGävleでの2~3倍の拡散光が生じている。大阪に較べてGävleの空が澄んだ青空であることが解る。

太陽高度と直射日光照度との関係を図15に示す。南中時の太陽高度がほぼ等しいGävleの6月と大阪の3月、10月の一次回帰式の勾配は似ているのに対し、大阪の6

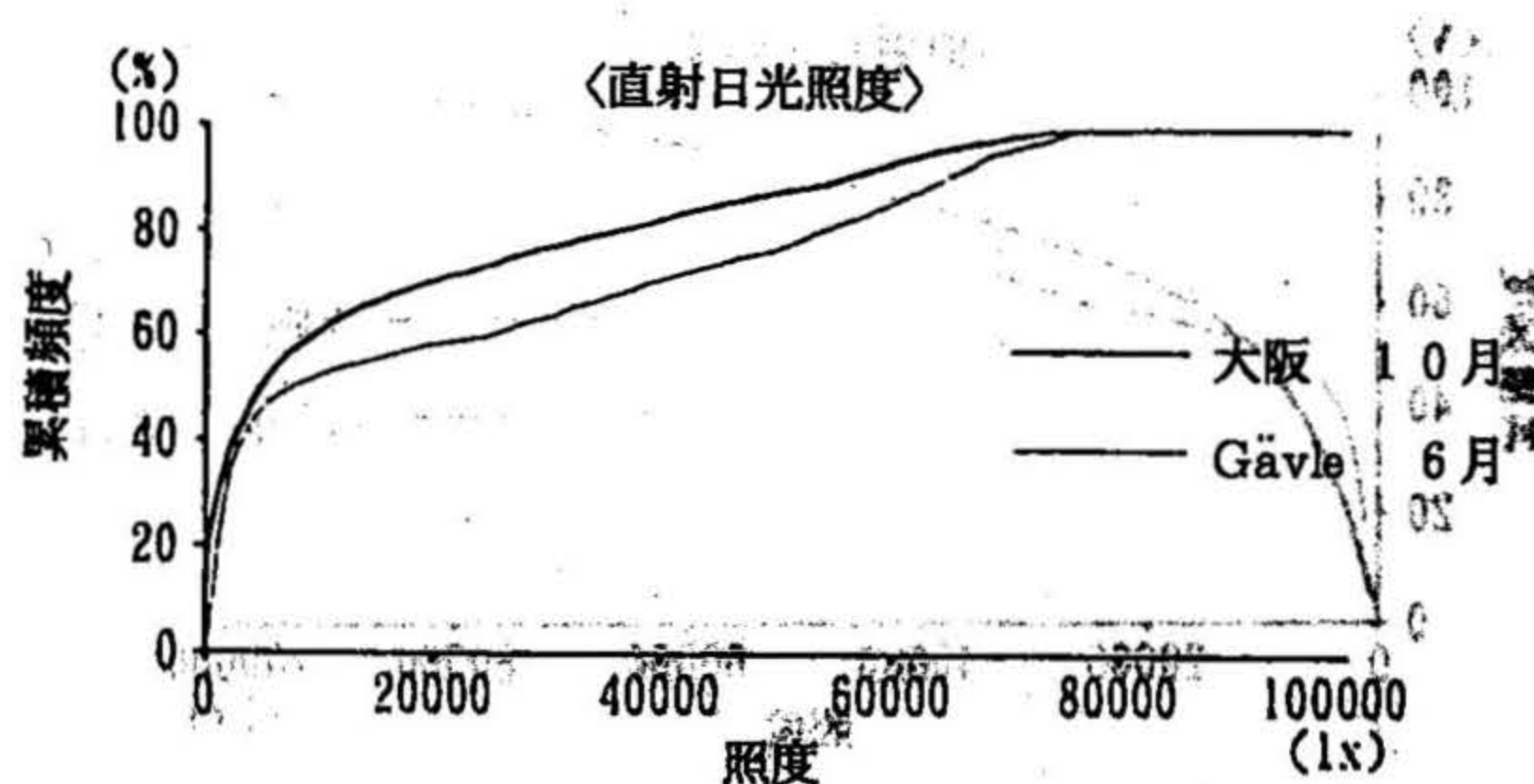
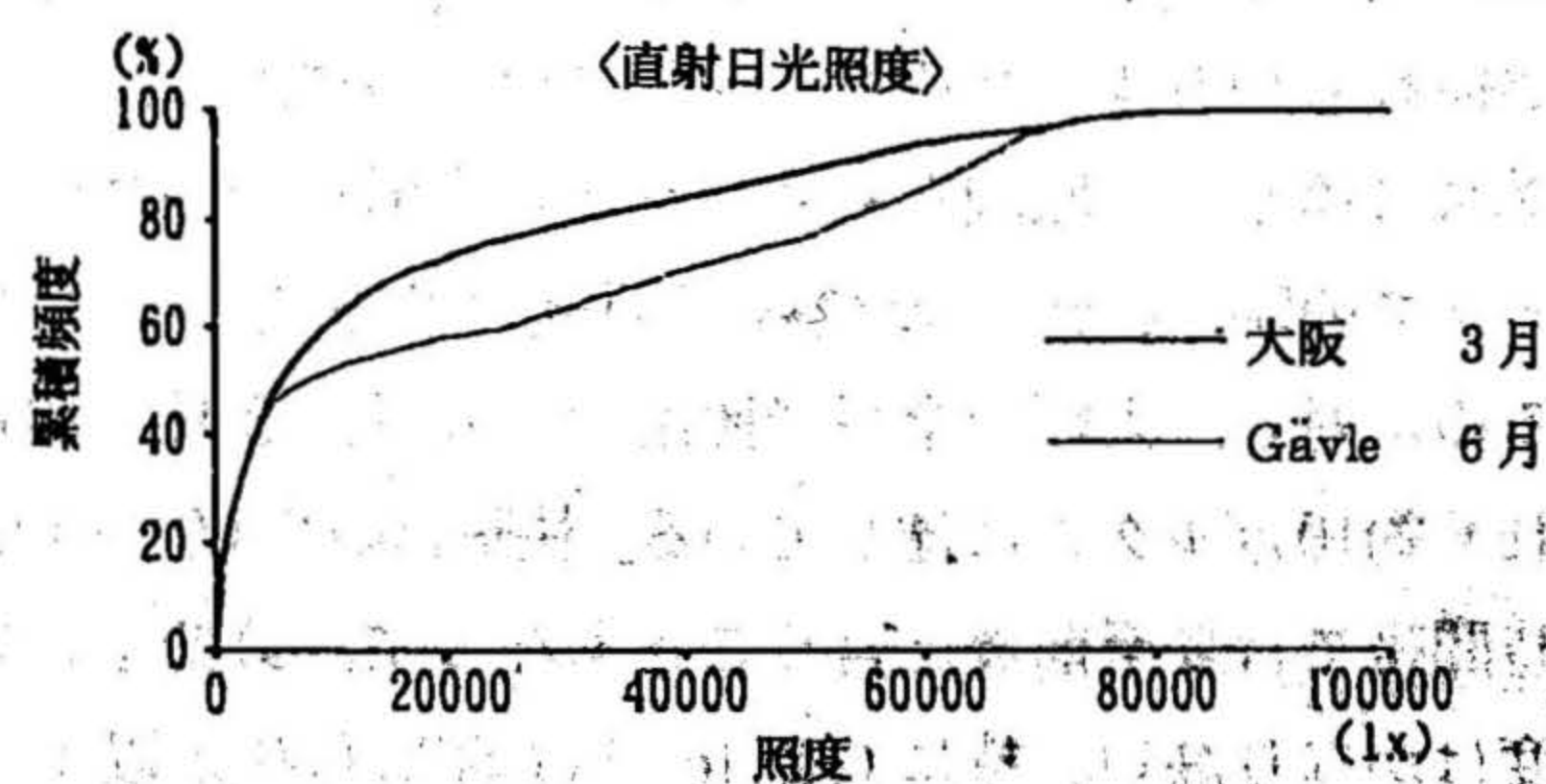
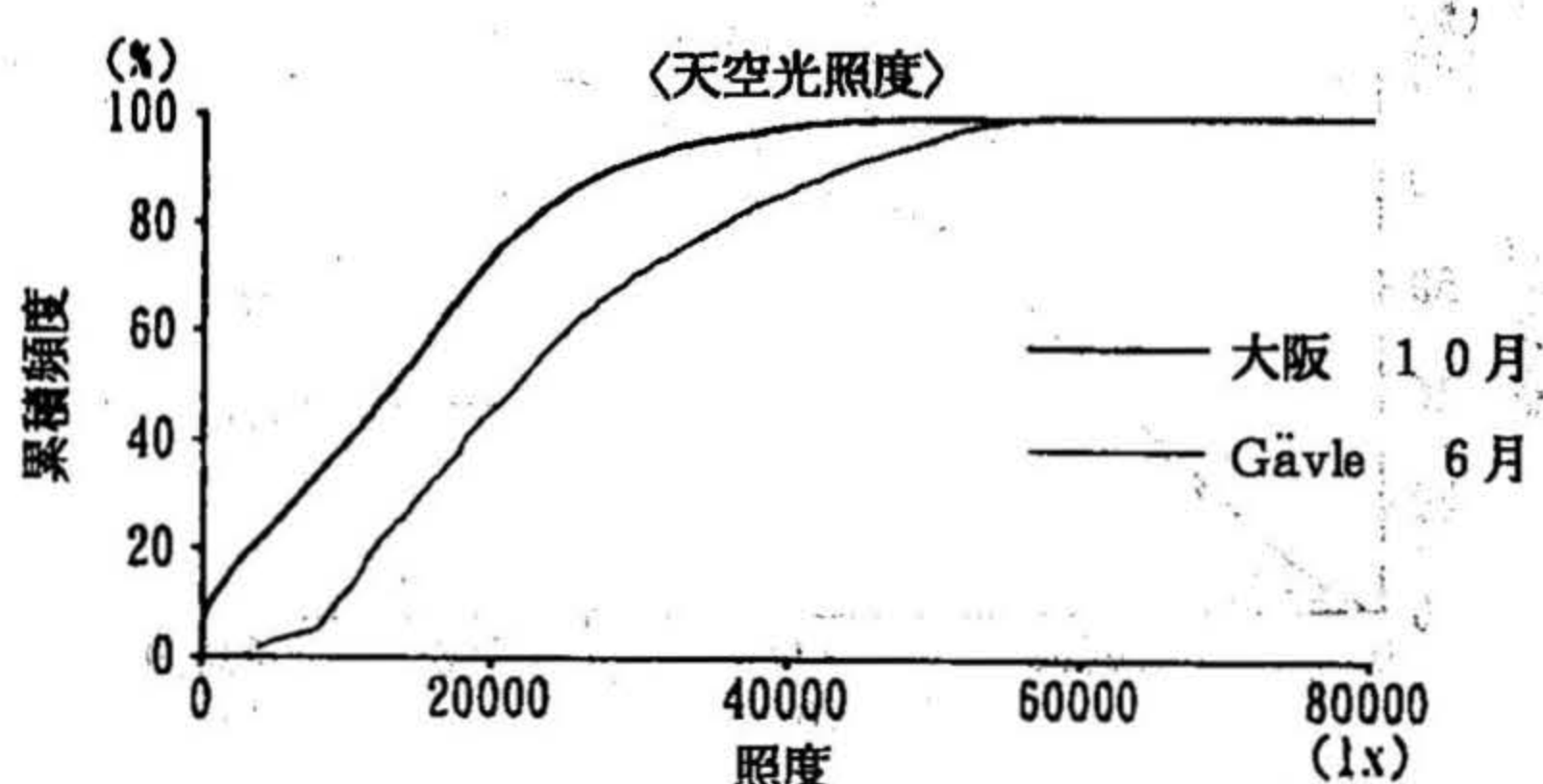
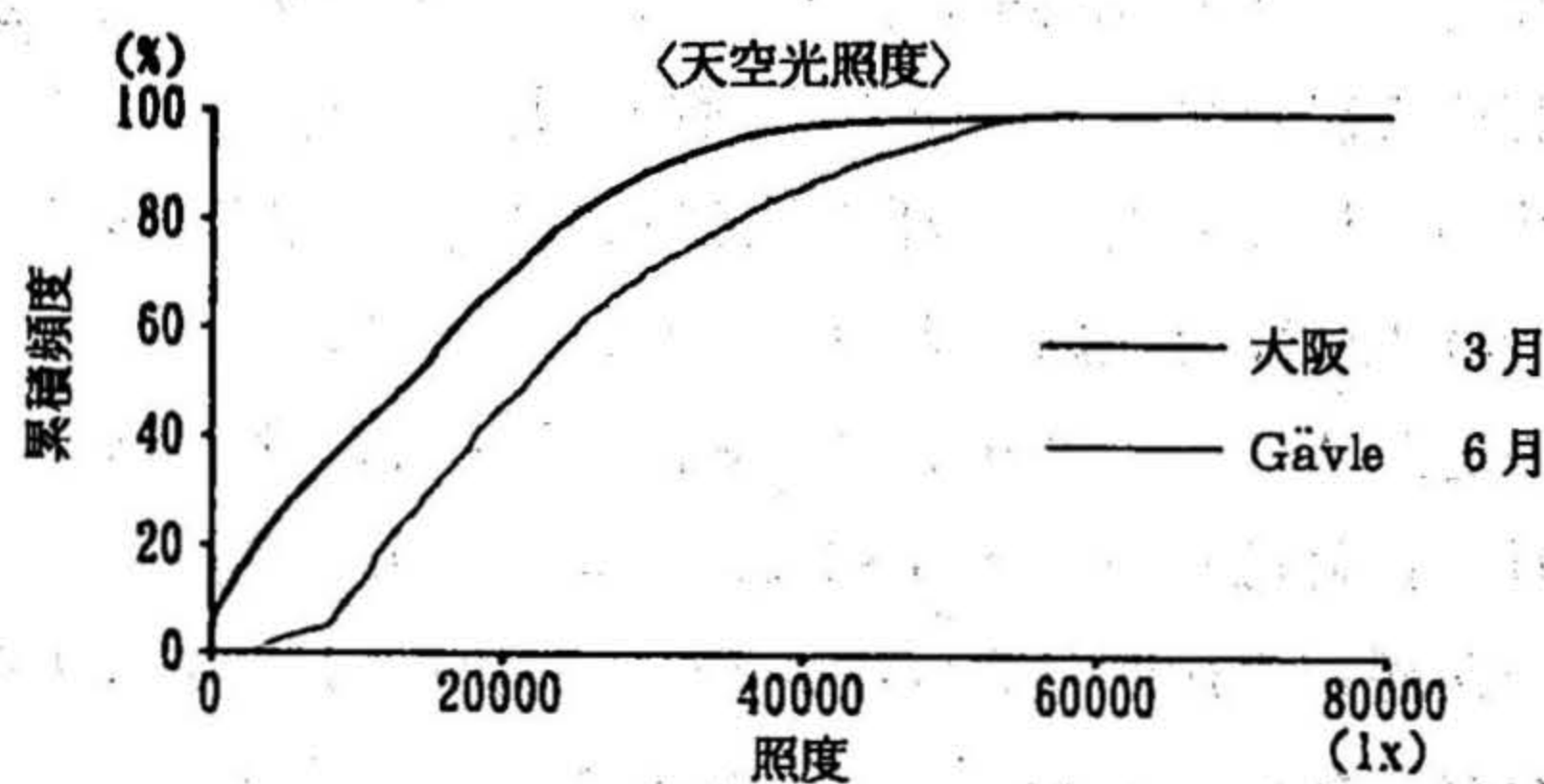
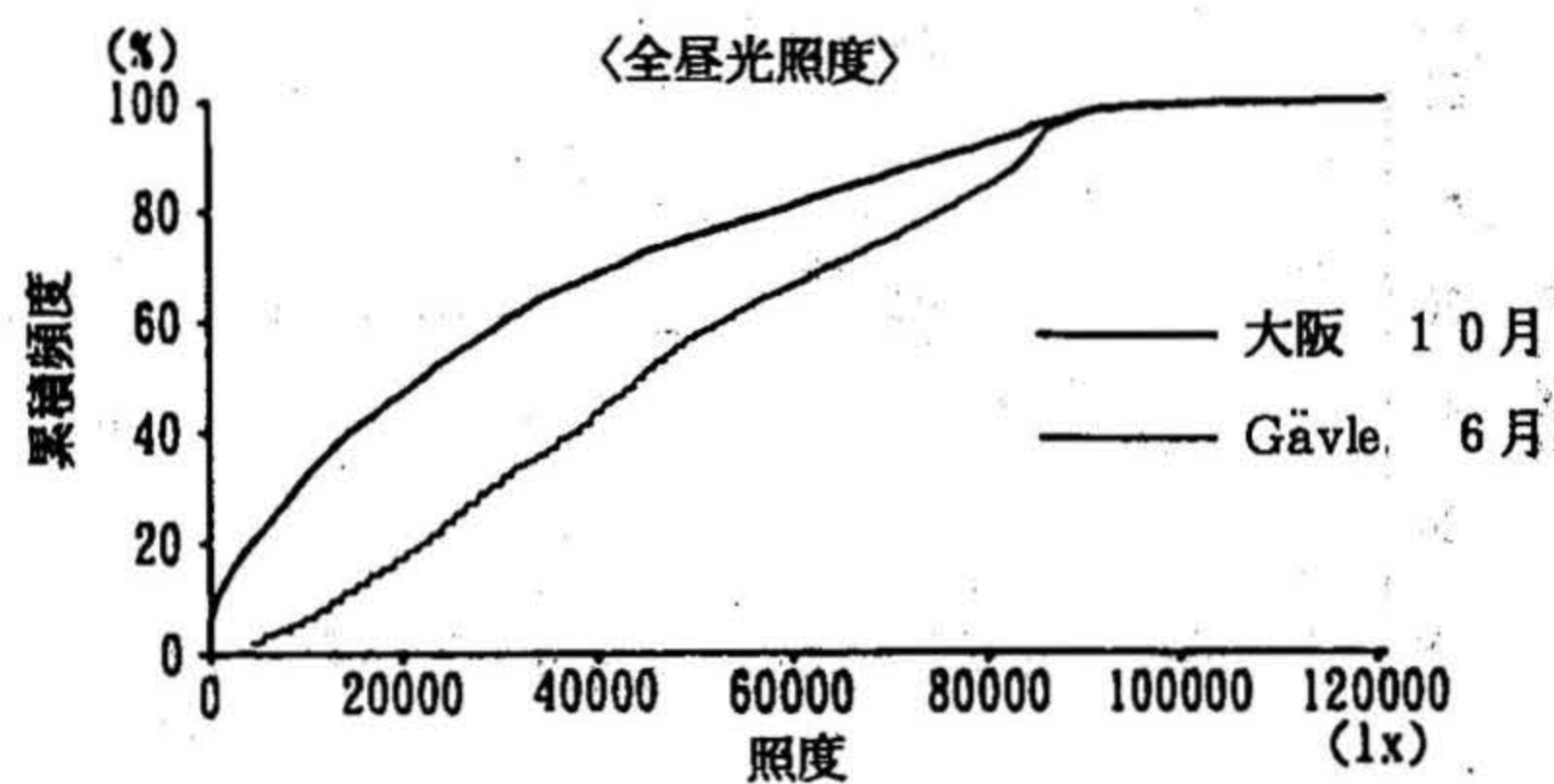
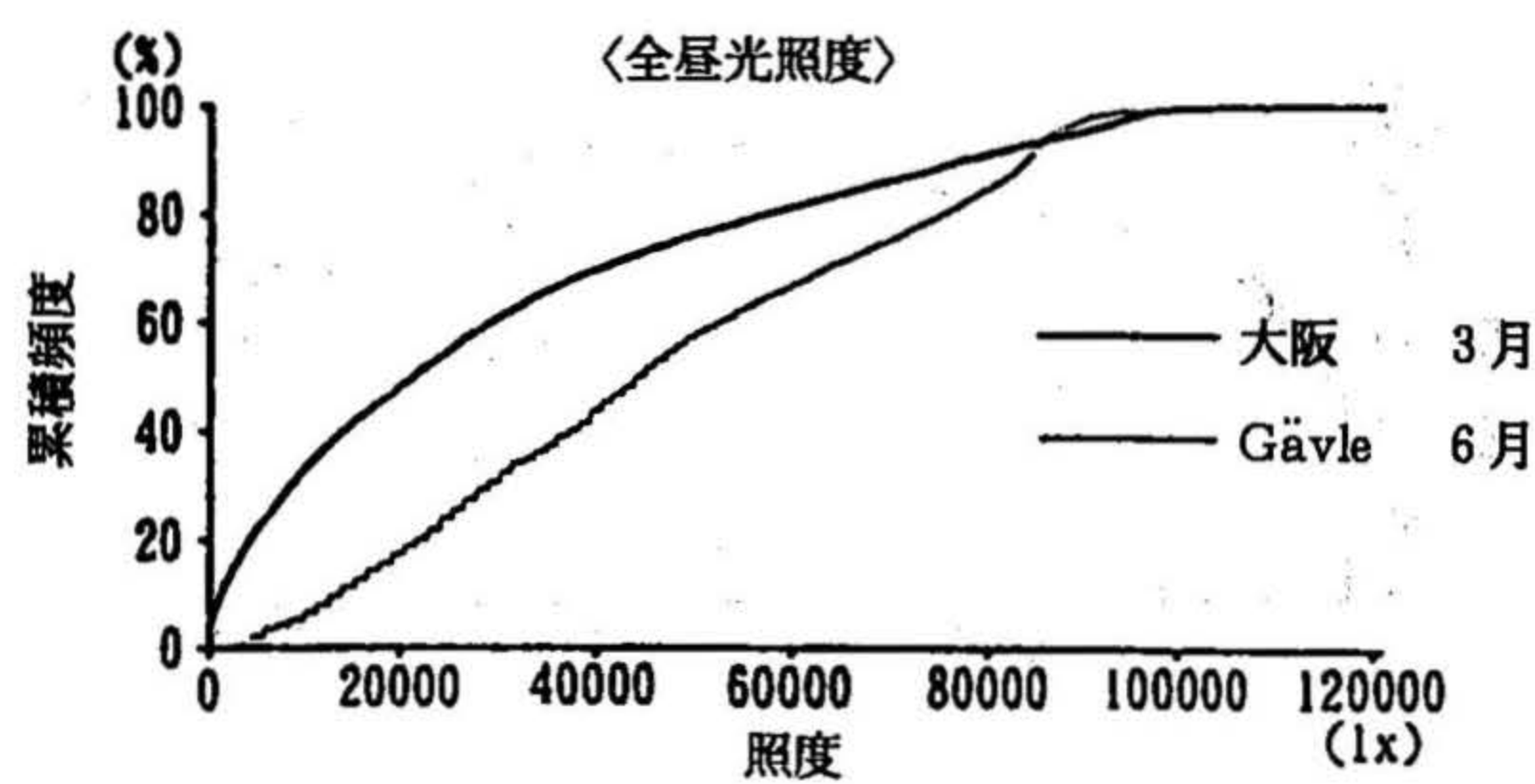


図9 昼光照度の累積頻度分布比較

図10 昼光照度の累積頻度分布比較

図9のグラフは、大阪3月とガヴレ6月の昼光照度の累積頻度分布を示している。大阪3月のデータはガヴレ6月のデータよりも右側にシフトしており、これは大阪3月の昼光照度の方がガヴレ6月のそれよりも高いことを示している。同様に、図10のグラフも大阪10月とガヴレ6月の昼光照度の累積頻度分布を示しており、大阪10月のデータもガヴレ6月のデータよりも右側にシフトしている。これらの結果から、大阪の昼光照度はガヴレよりも一般的に高いことが確認できる。

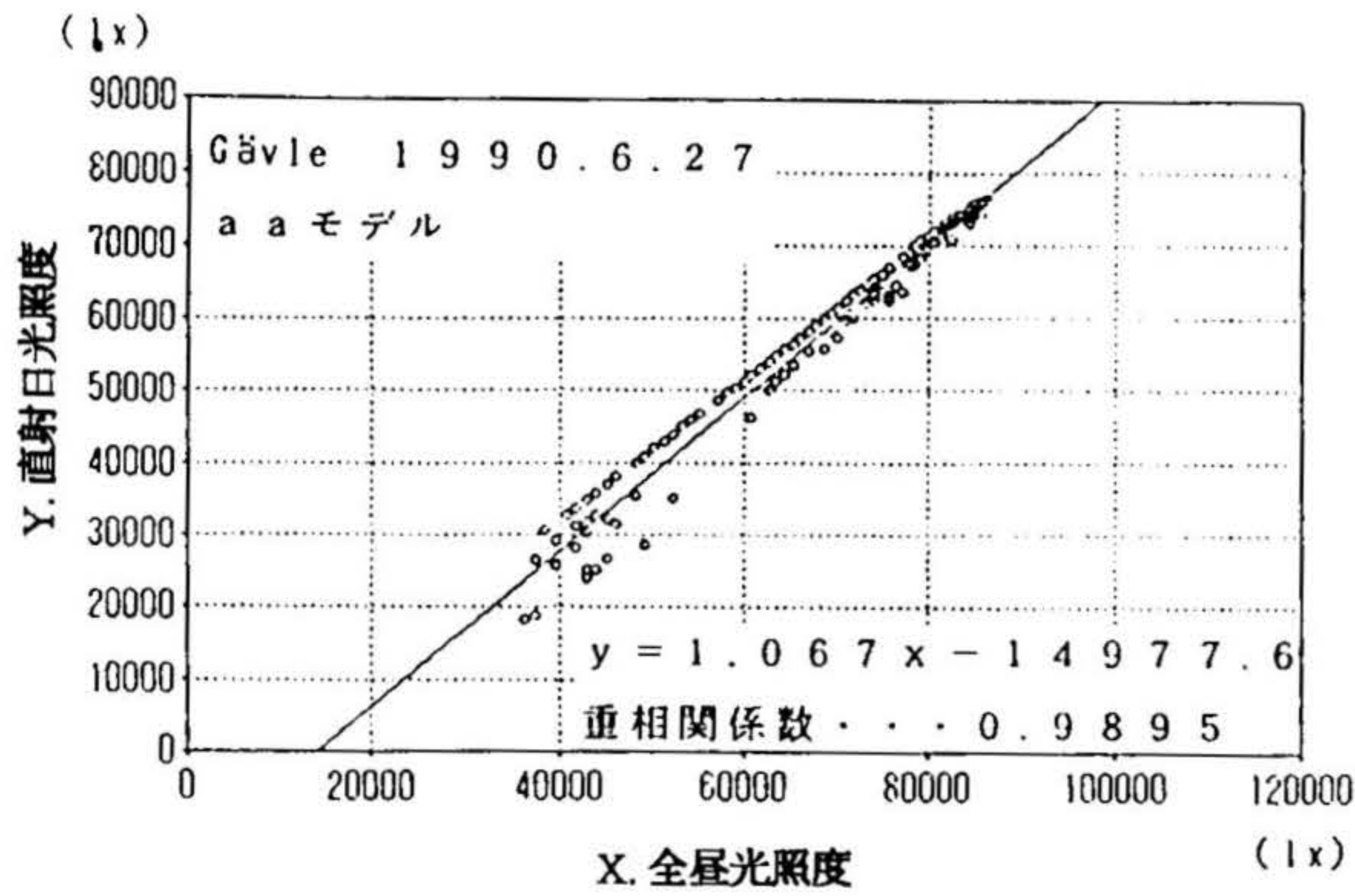


図11 Gävleの快晴時の全昼光照度と直射日光照度の関係

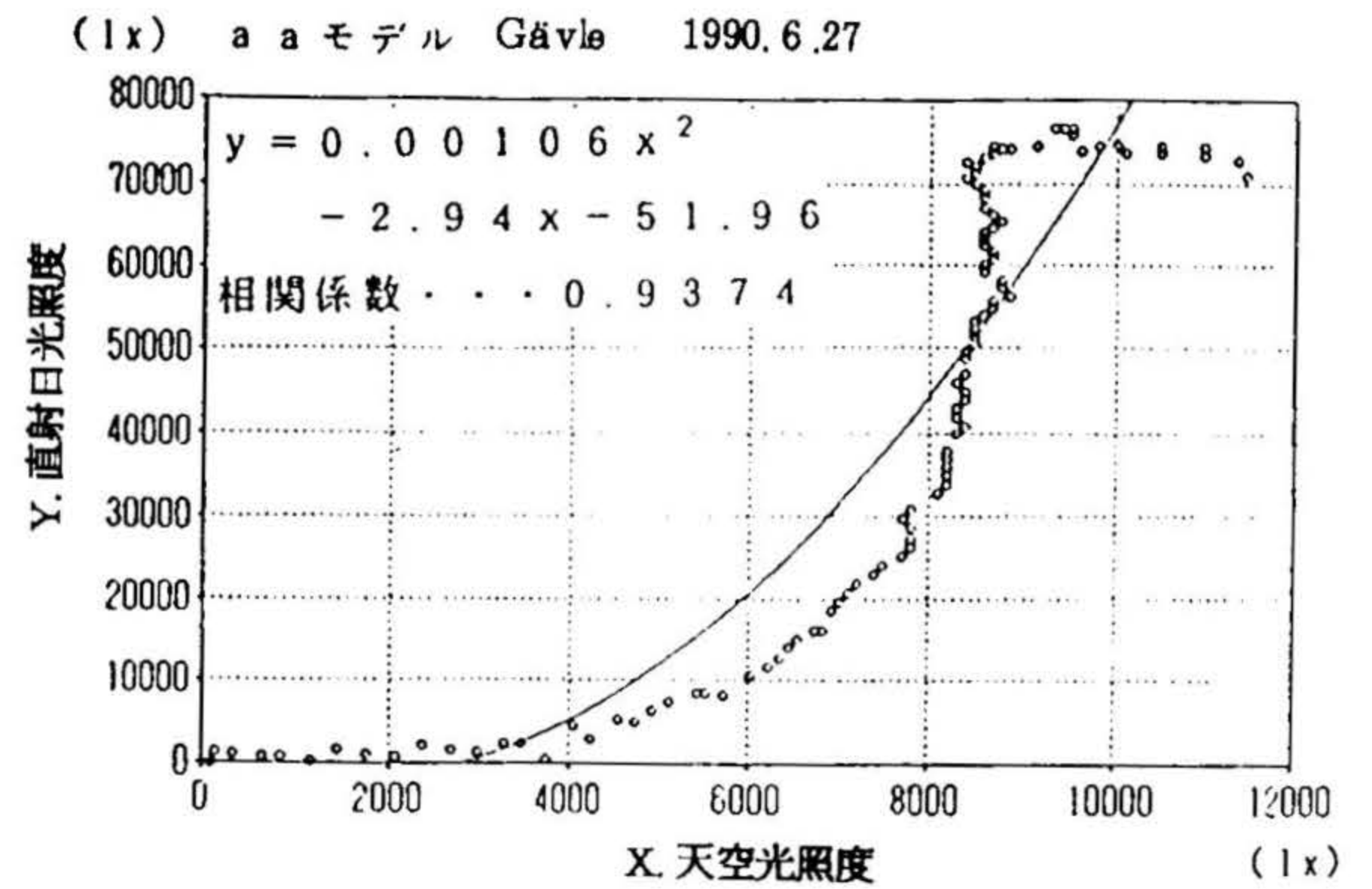


図13 Gävleの快晴時の天空光照度と直射日光照度の関係

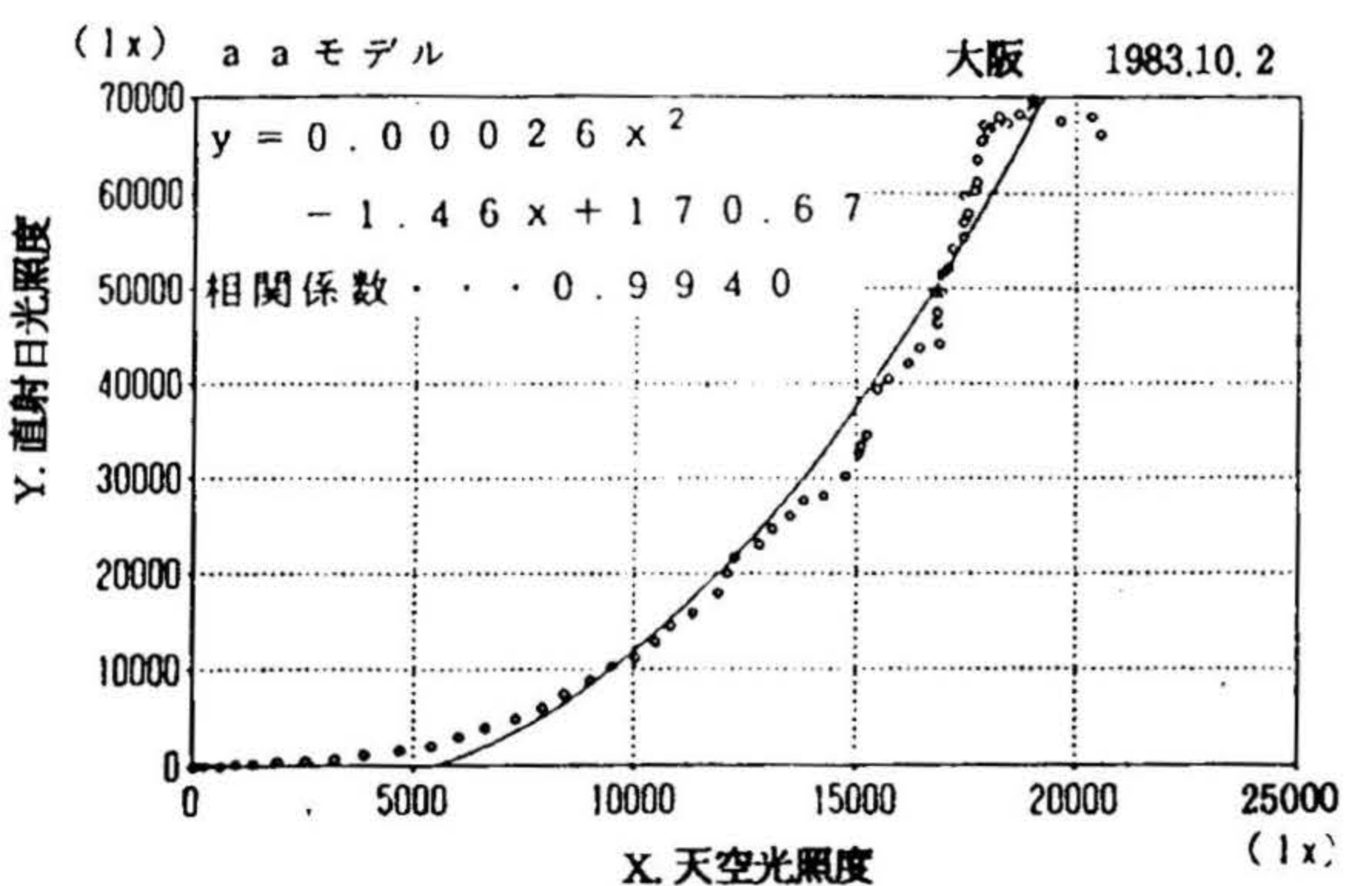
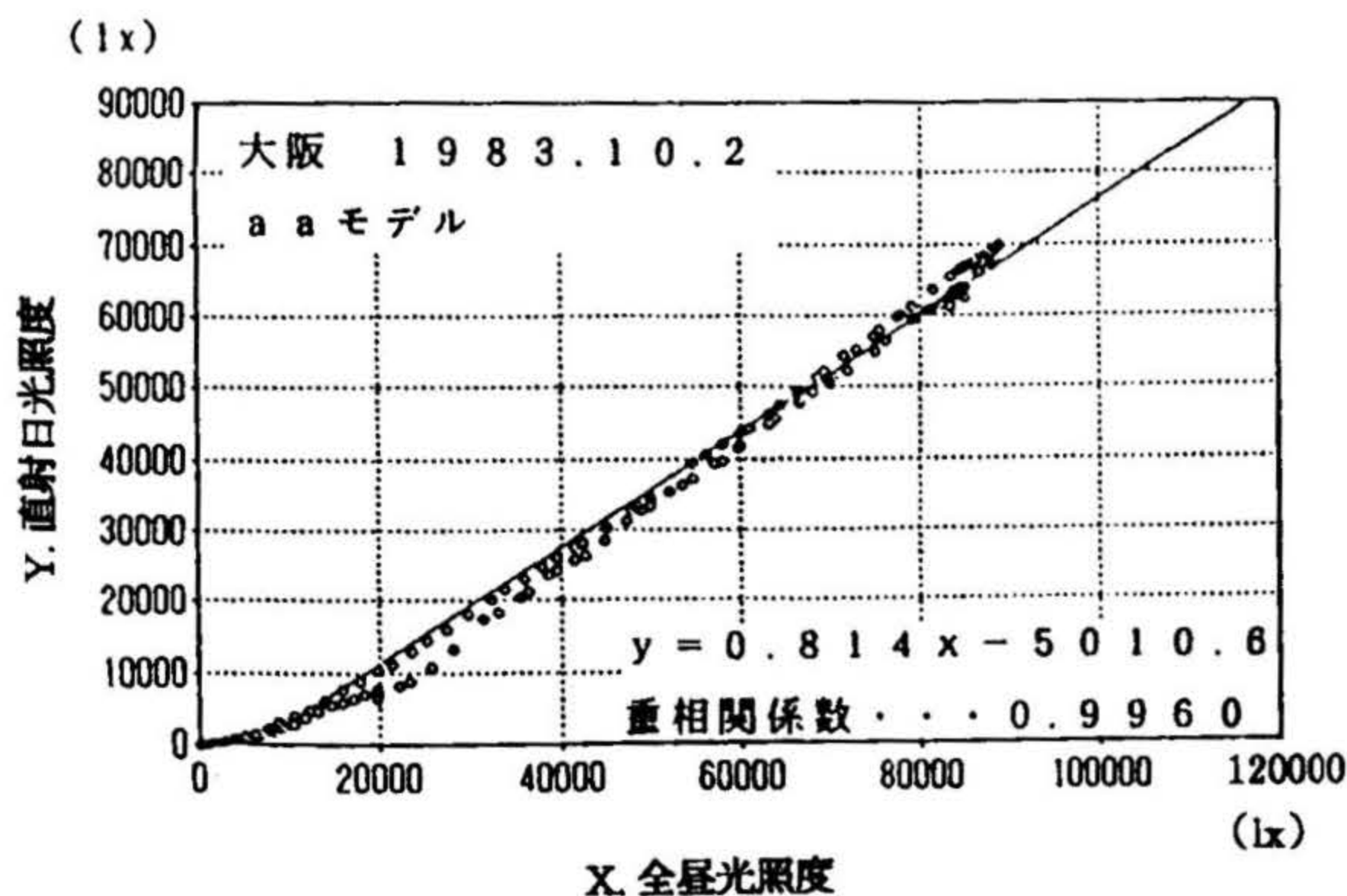
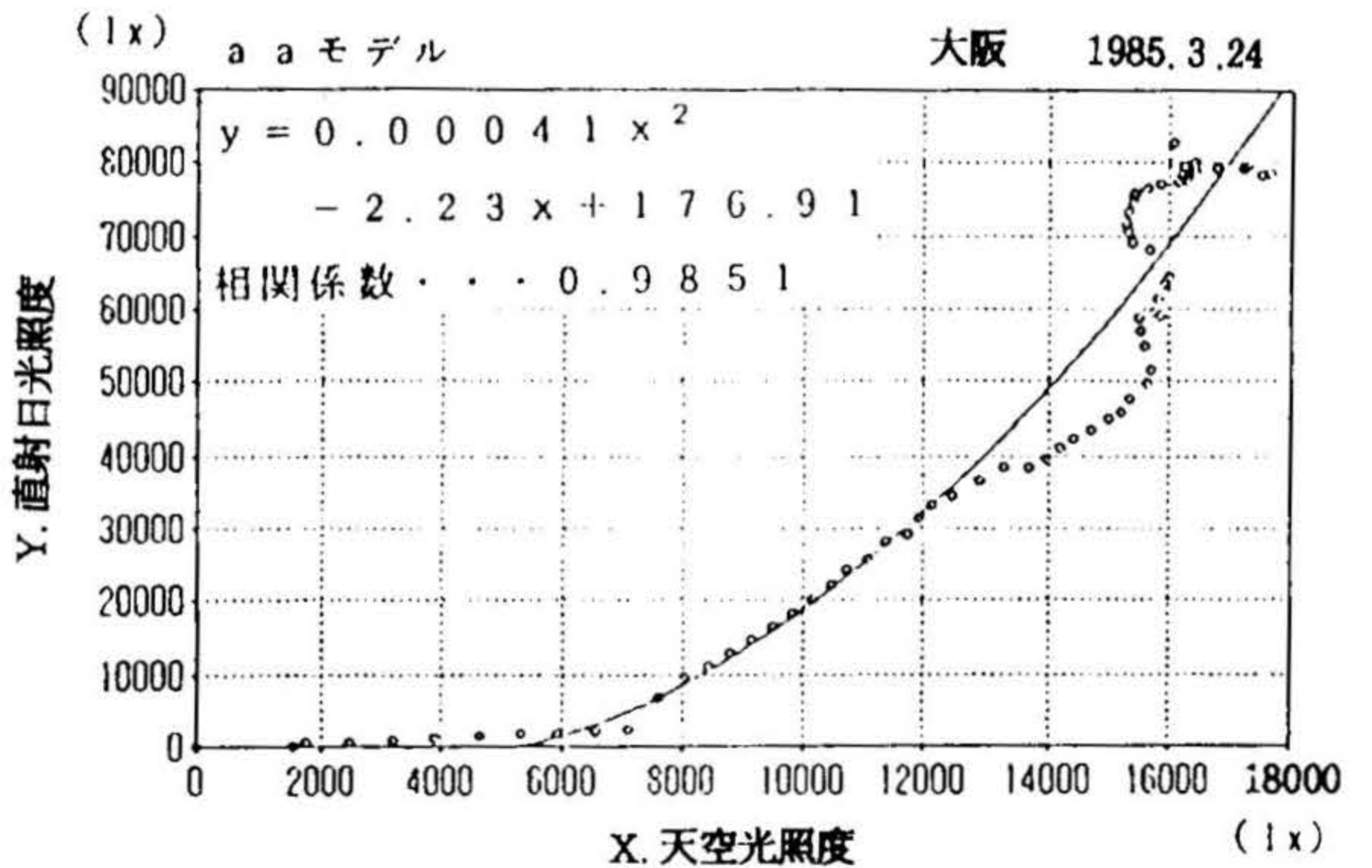
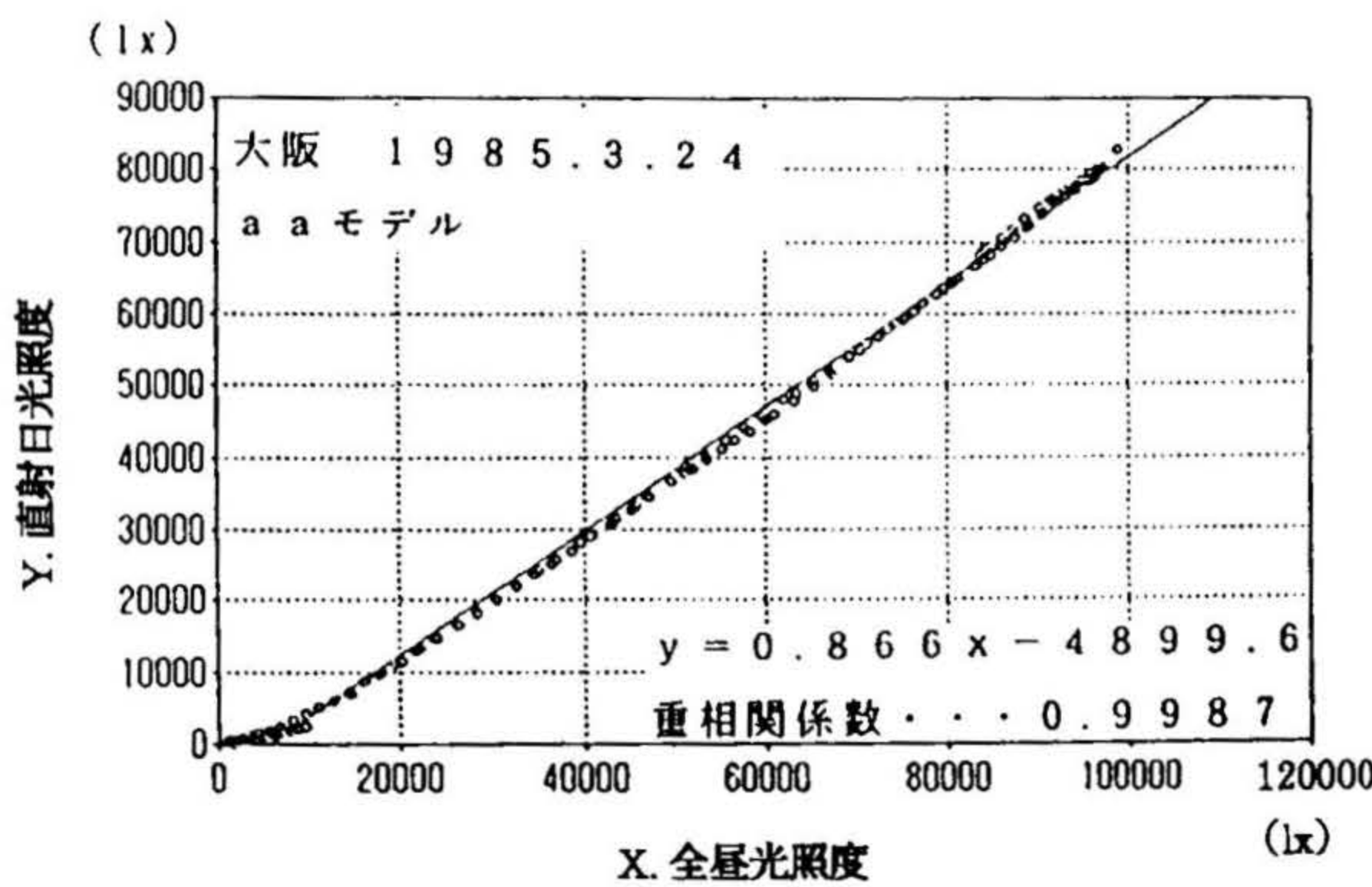
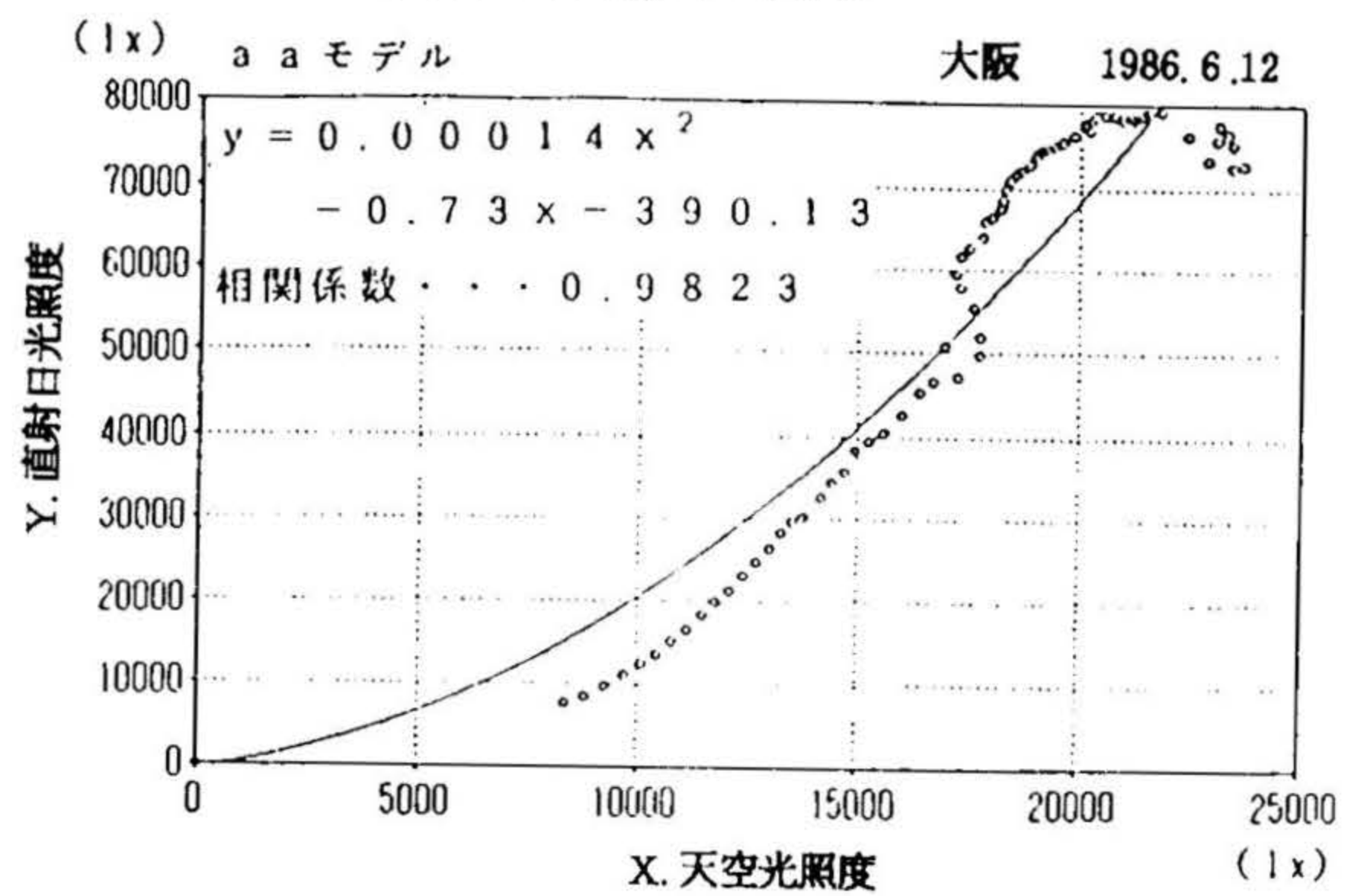
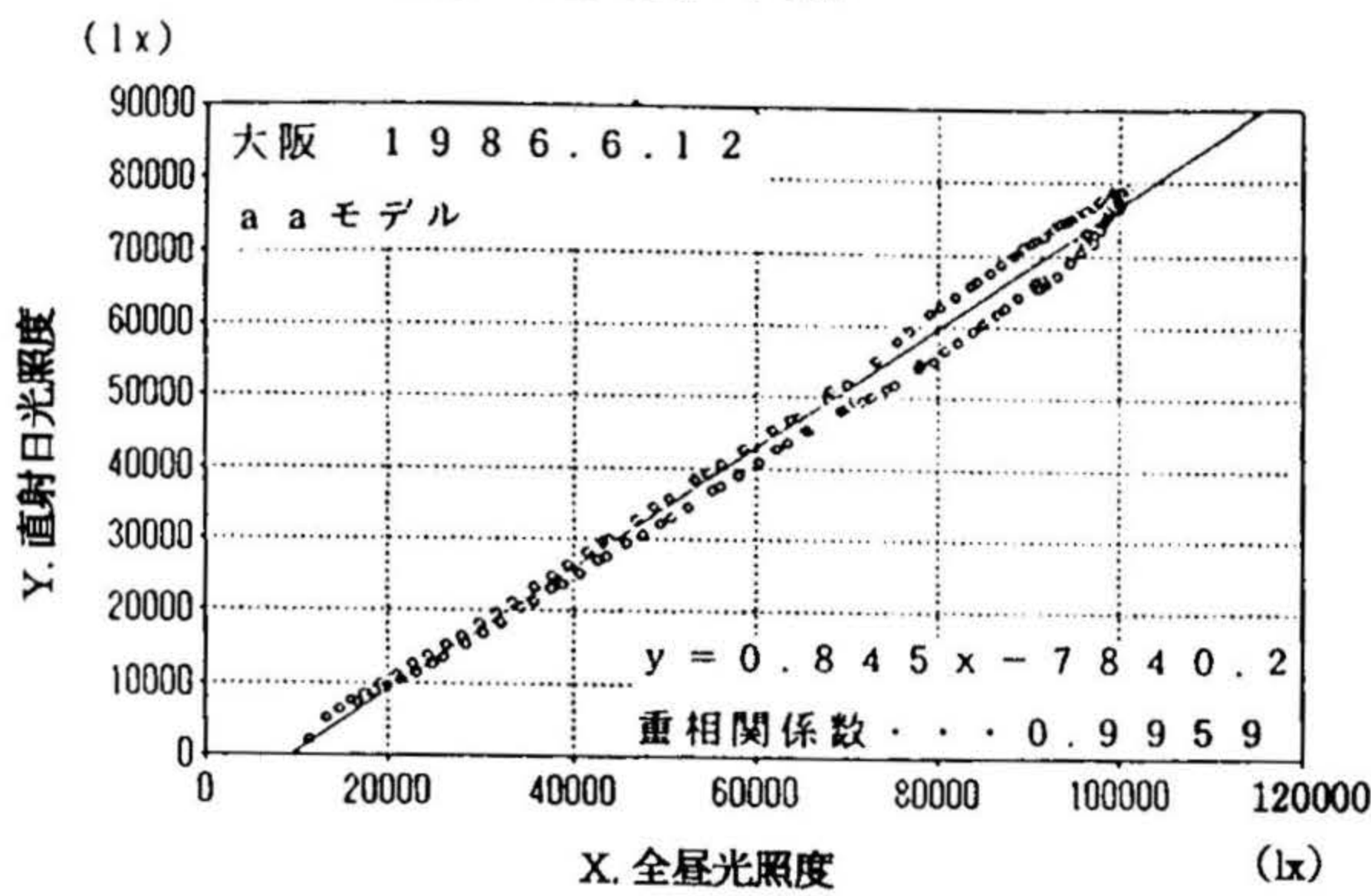


図12 大阪の快晴時の全昼光照度と直射日光照度の関係

図14 大阪の快晴時の天空光照度と直射日光照度の関係

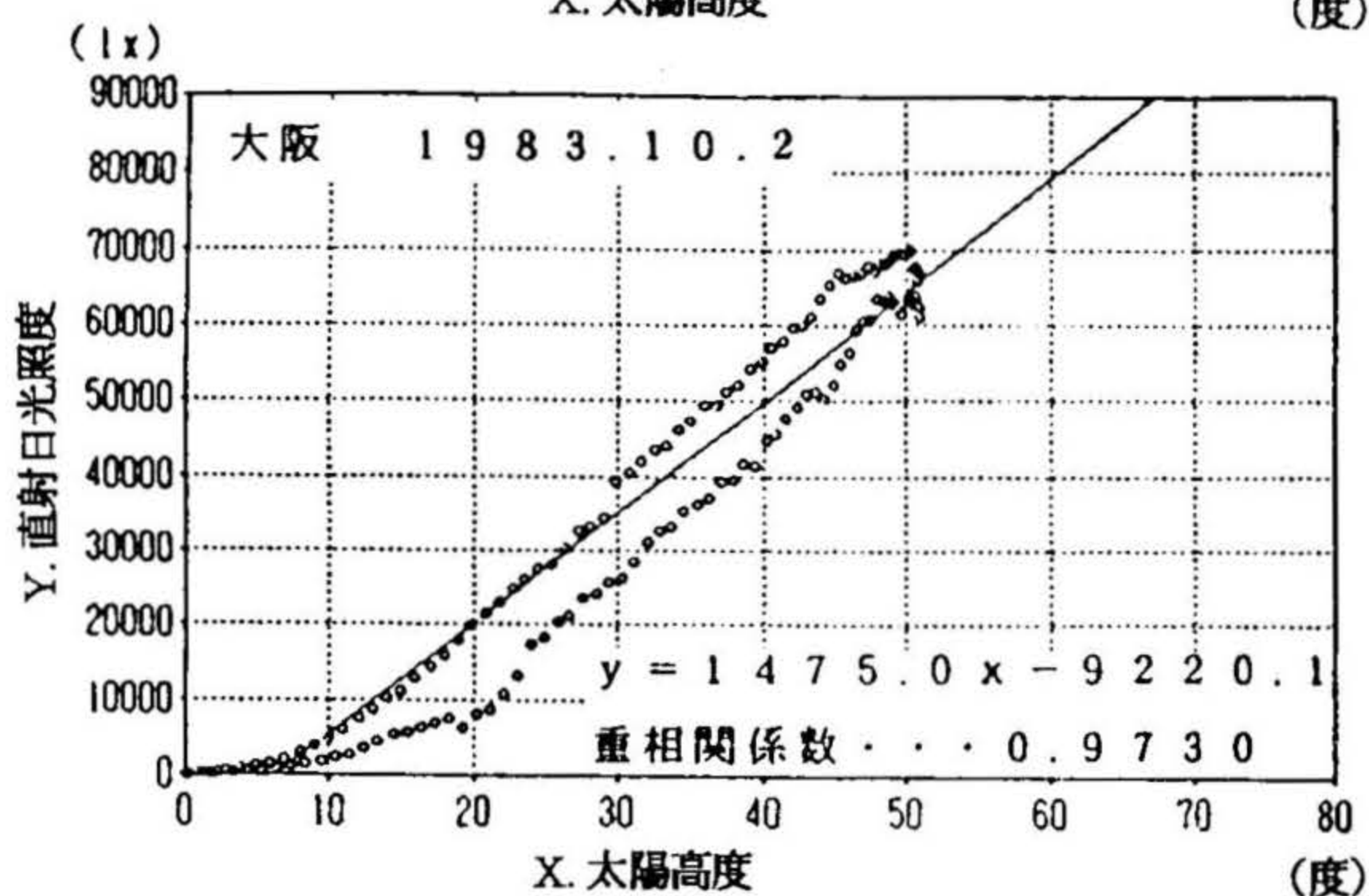
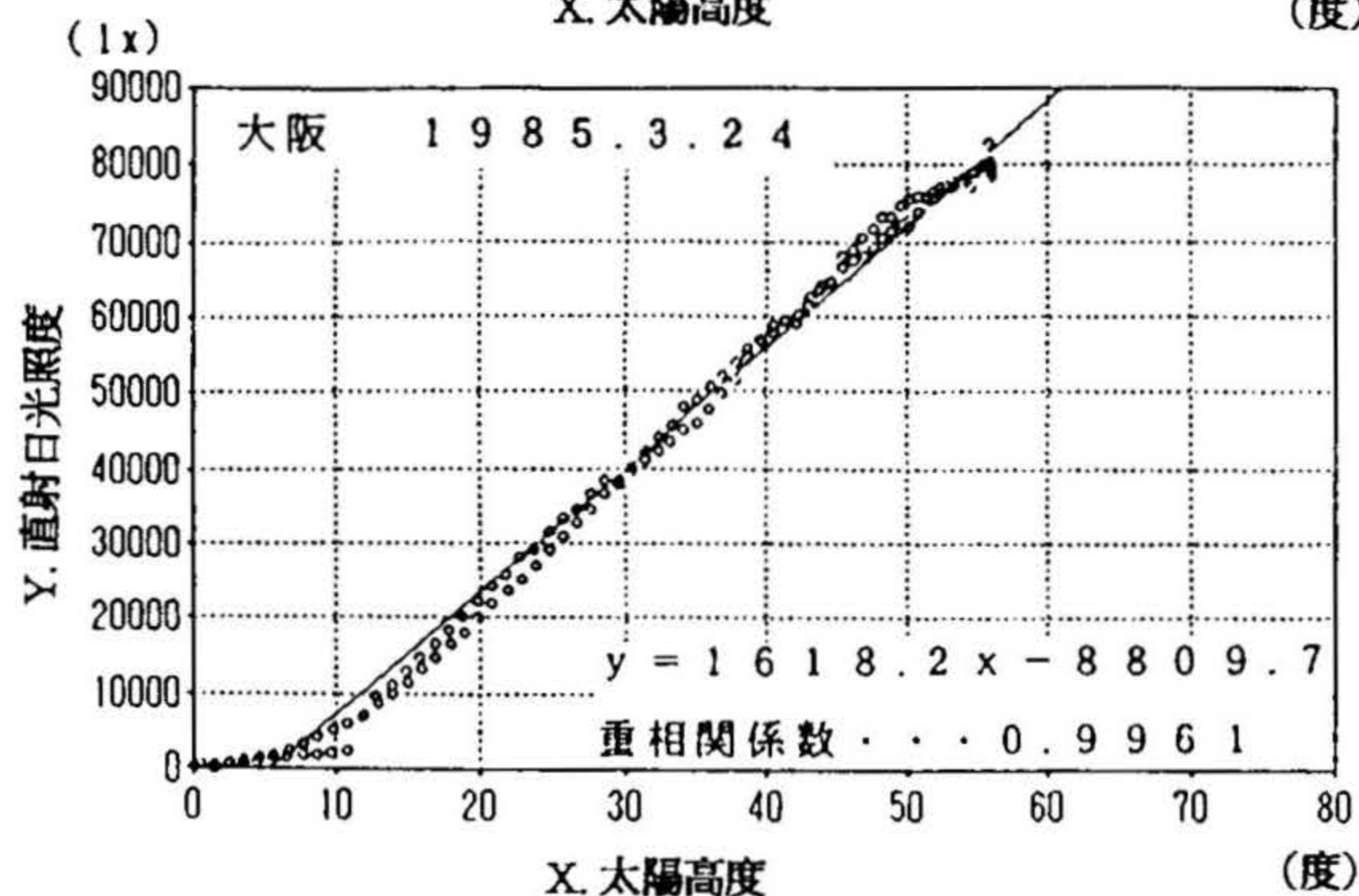
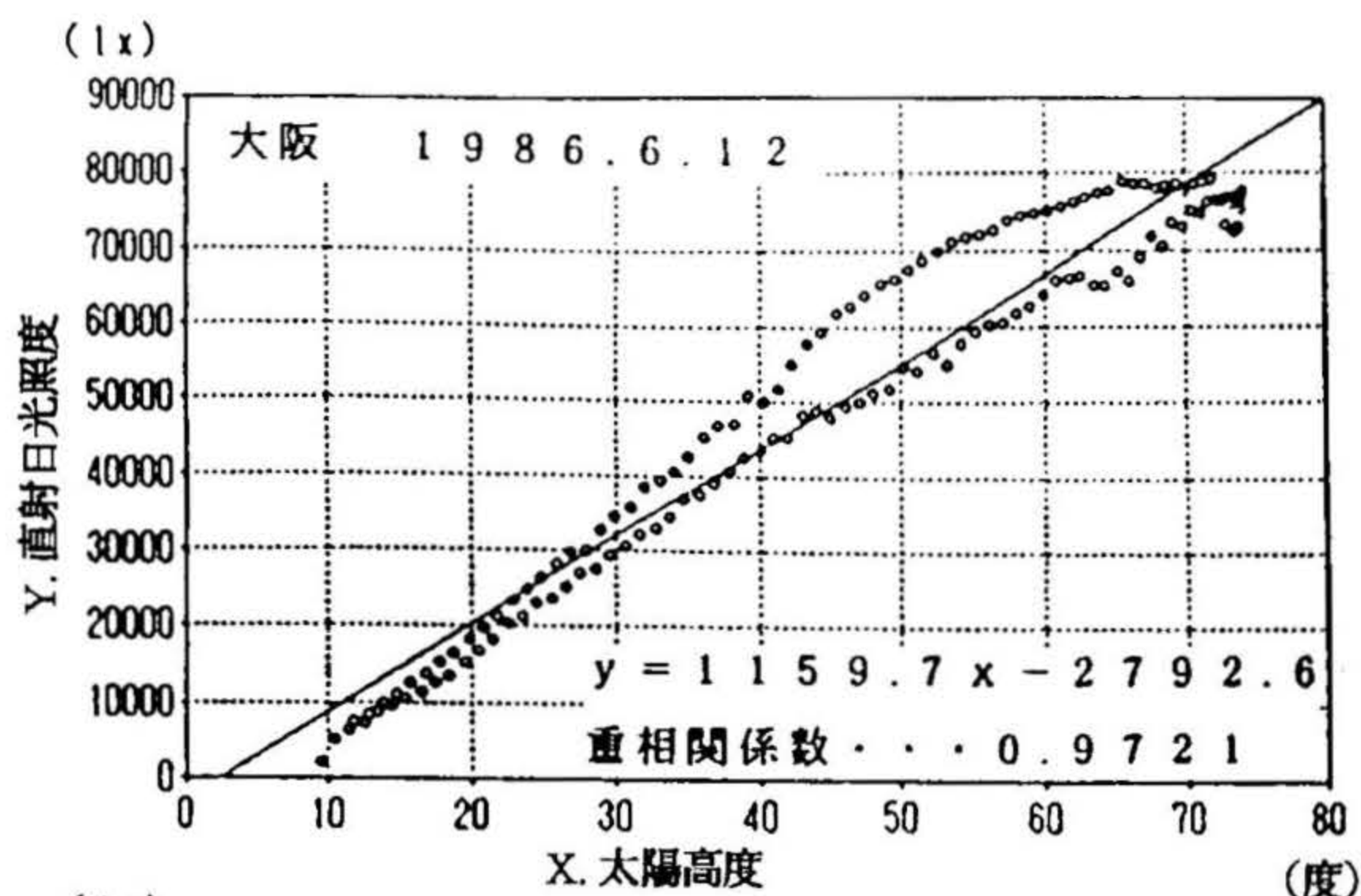
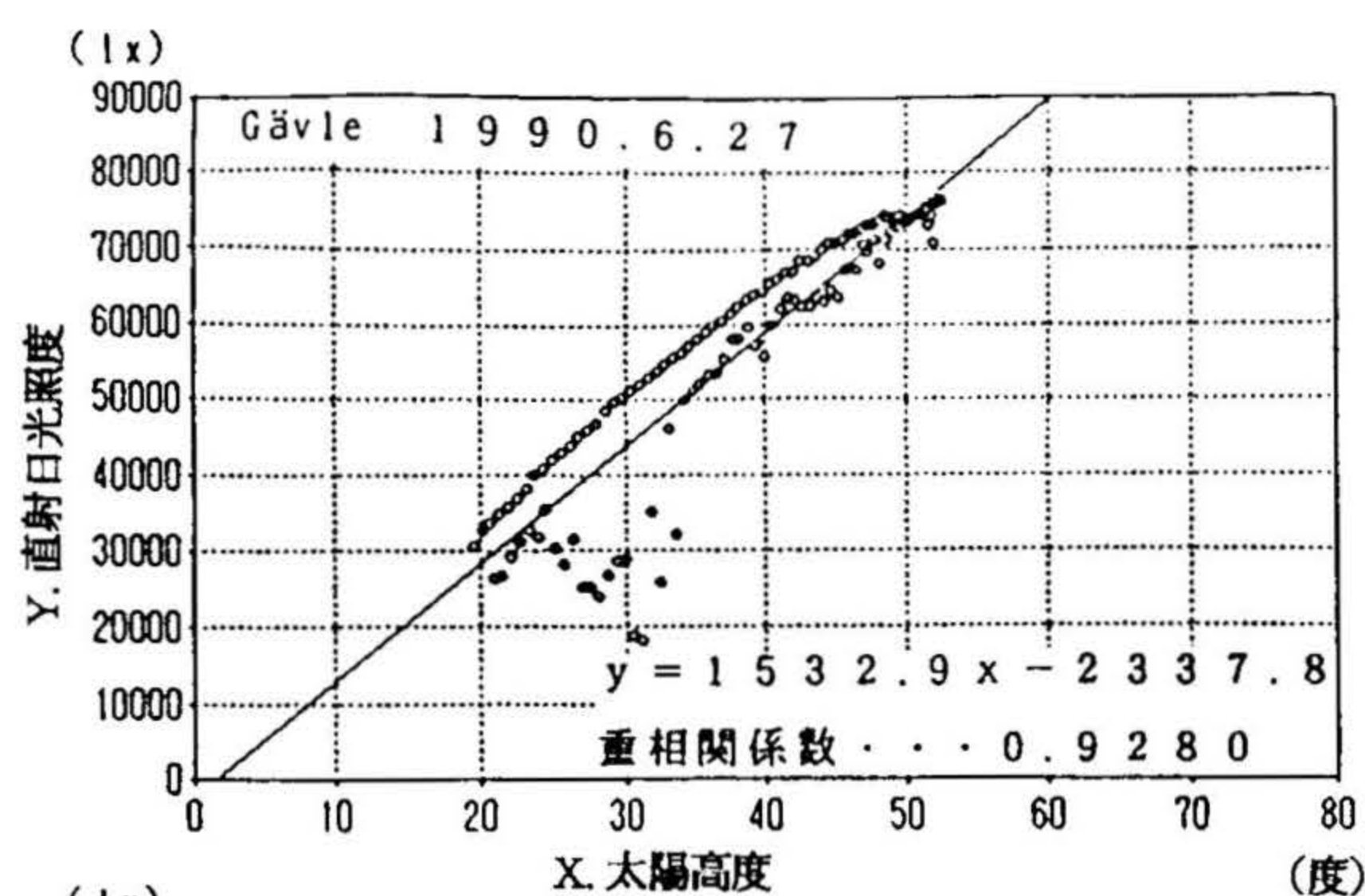


図15 快晴時の太陽高度と直射日光照度の関係

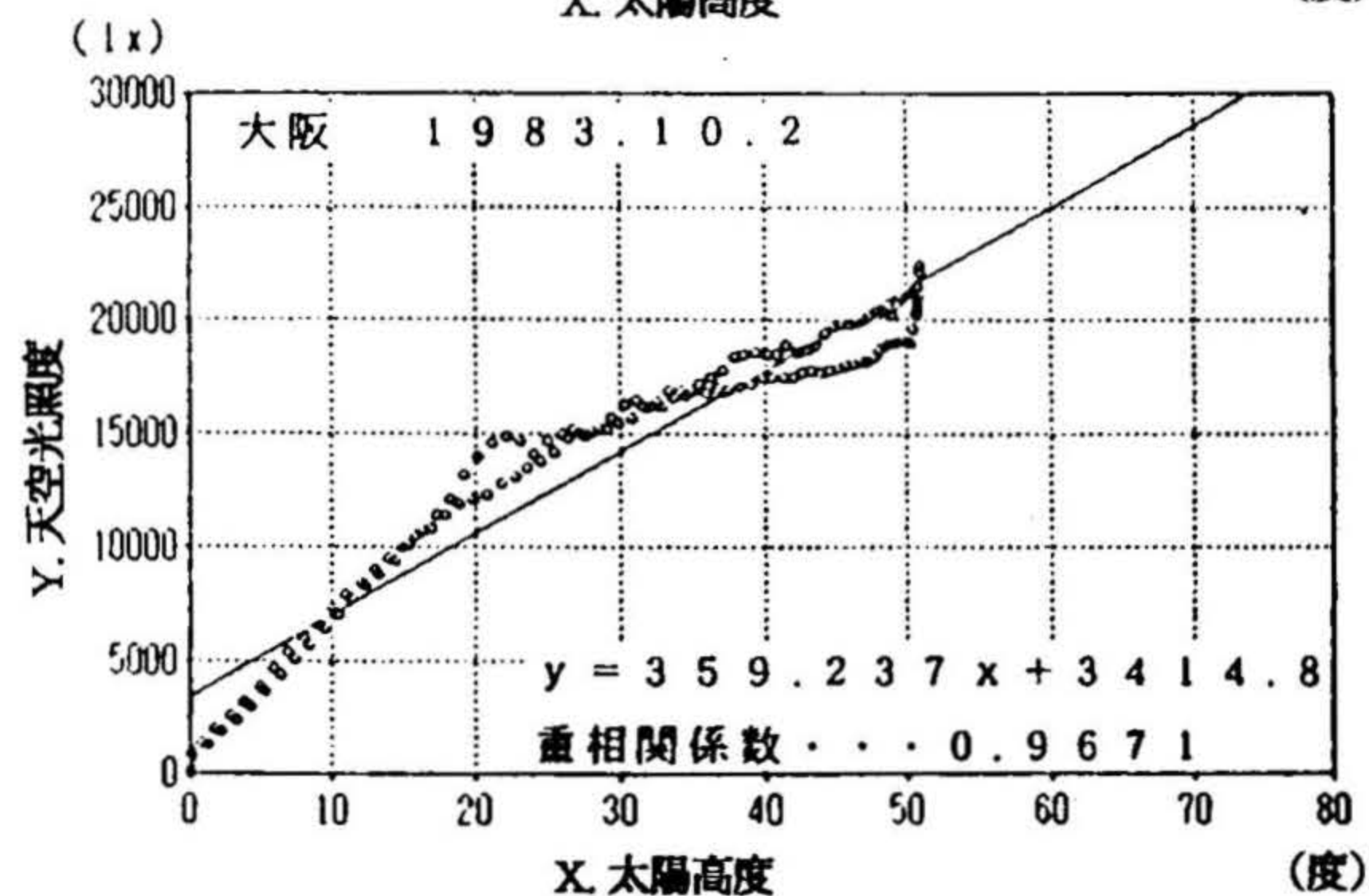
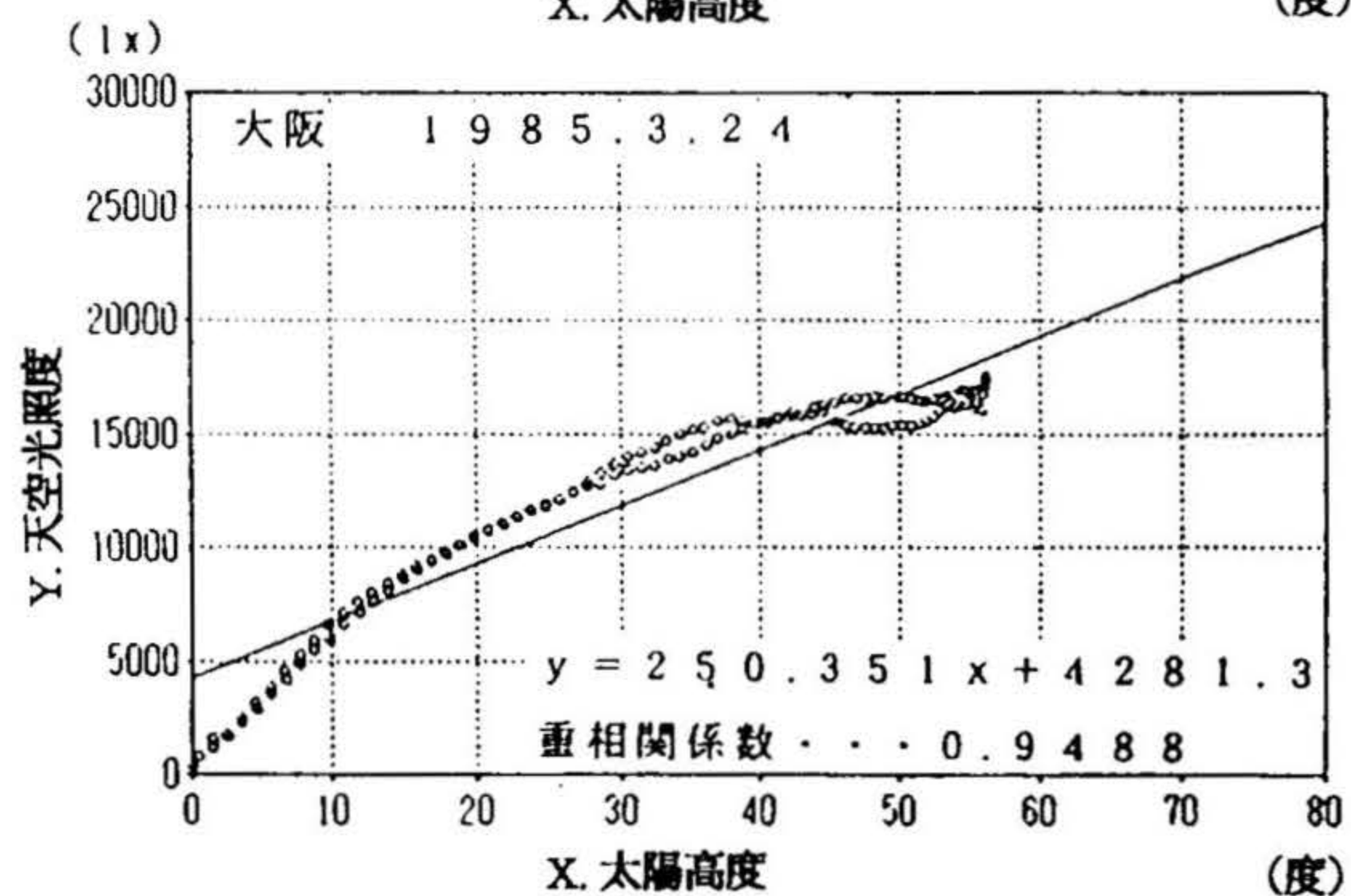
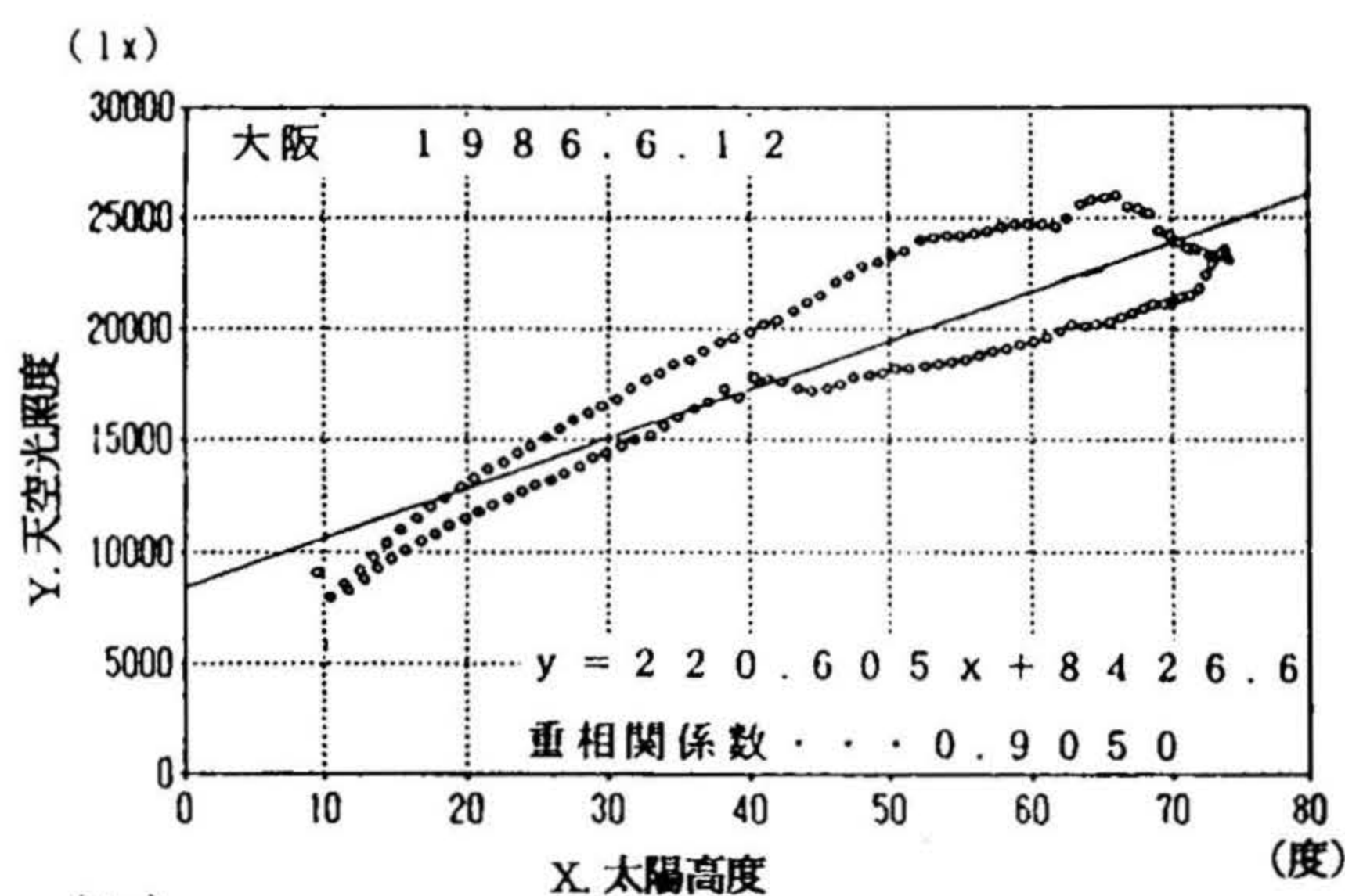
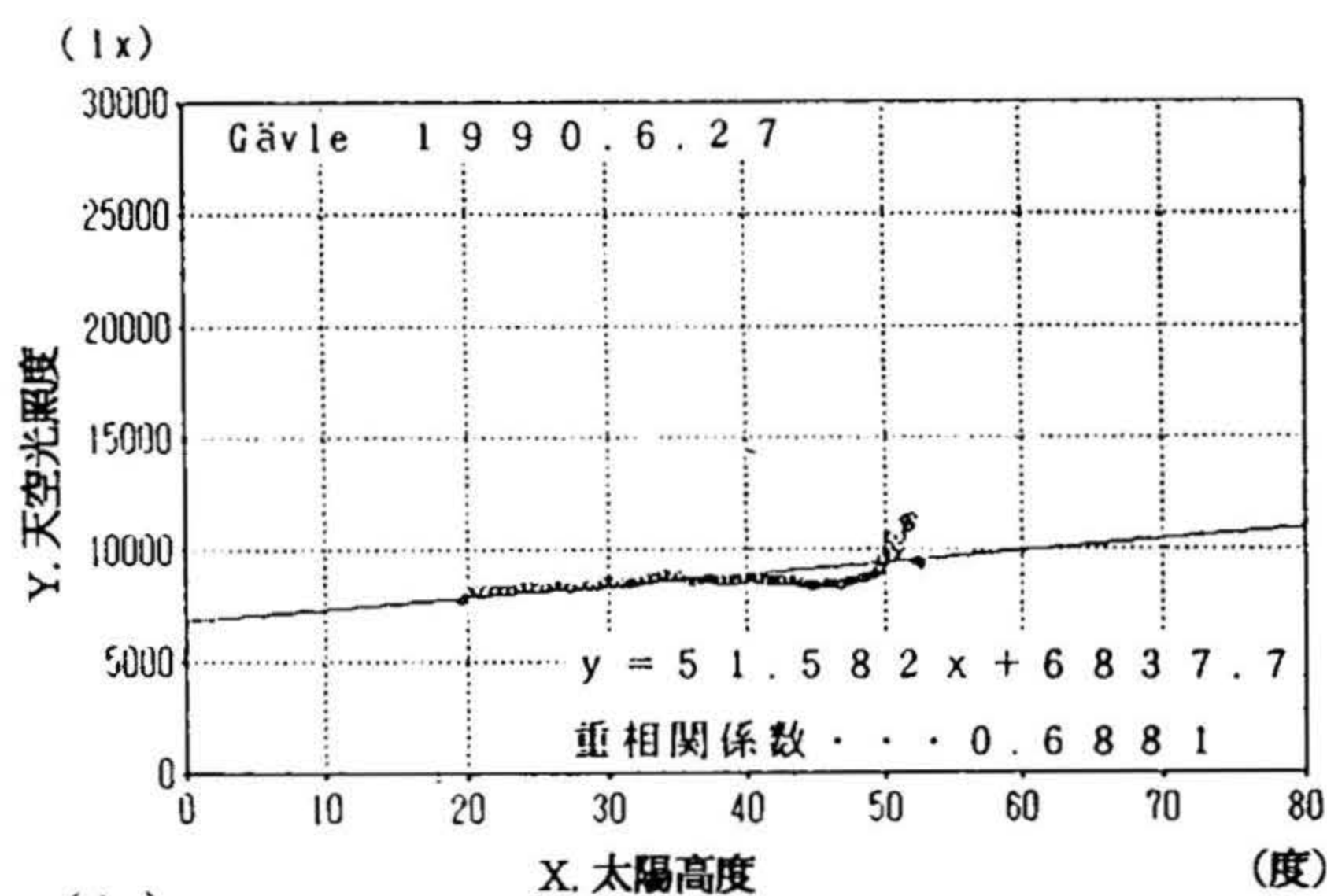


図16 快晴時の太陽高度と天空光照度の関係

月の回帰式の勾配はかなり緩やかである。

太陽高度と天空光照度の関係では、図16に示すように一次回帰式の勾配は大阪の6月、3月、10月の係数がいずれも約220～360となって、太陽高度が高くなる程明らかに天空光照度も増加している。一方、Gävleの6月では係数が大阪の $1/4 \sim 1/7$ と小さく、太陽高度が高くなっても天空光照度はほとんど変わらず、また照度レベルも低い。これは前述の如く、Gävleの6月の大気中に、大阪の大気とは異なり、直射日光を拡散する水蒸気や塵埃などが少ない事を示していると言える。

Ⅲ まとめ

短期間の実測だけで結論づける事はできないが、この範囲で解った事を纏める。

(1) Gävleの位置が北緯61度近くであり、しかも測定期間が夏至を挟んだ16日間であるため、夜間の最低照度でも80lx以上ある。夏至の日のGävleに於ける日の出は午前2時頃であり、日の入りは午後10時頃である。

(2) 大阪では6月の全昼光照度が10万ルクス以上になることもあるのに、Gävleでは約9万ルクス以上の全昼光照度は殆ど出現していない。

(3) 累積頻度グラフ曲線の勾配から、大阪の6月と較べて、Gävleでの6月は全昼光照度、天空光照度、直射日光照度とも低照度の出現頻度の高いことが解る。

(4) 太陽の南中高度の略等しい大阪の3月及び10月の昼光照度と比較すると、全昼光照度・天空光照度・直射日光照度とも大阪に較べてGävleの6月の値の方が高い。

(5) 快晴時大阪の全昼光照度が6月、3月、10月とも約10万ルクスまで達しているのに対し、6月のGävleの快晴時の全昼光照度は9万ルクスに達していない。直射日光照度が8万ルクスの時、Gävleの全昼光照度は約9万ルクスであるのに対し、大阪の全昼光照度は、6月、3月、10月何れも約10万ルクスに達している。

(6) Gävleでは直射日光照度が8万ルクス近くになっても天空光照度は9千ルクスに達していないのに、大阪では直射日光照度が8万ルクスの場合、6月、3月、10月の天空光照度はそれぞれ22千ルクス、17千ルクス、20千ルクスとなっていて、Gävleでの2～3倍の拡散光が生じている。

(平成5年10月12日受理)

Summary

The authors measured the daylight illuminance at the National Swedish Institute for Building Research in Gävle, Sweden in June 1990. The measurements were compared with those made by the authors in Osaka, to identify the characteristics of the daylight in Sweden. Although measurements for such a short period of time may not be sufficient to draw a decisive conclusion, they reveal at least the following facts :

- (1) Measurements were taken for 16 days continuously including the summer solstice day in the middle, in Gävle which is located at approximately 61° North Latitude. Therefore, the lowest global daylight illuminance during the night is 80 lx or higher. On the day of the summer solstice in Gävle, the sun rises at about 2 a.m., and sets at about 10 p.m.
- (2) In June, global daylight illuminance hardly exceeds about 90,000 lx in Gävle, while it is sometimes 100,000 lx or higher in Osaka.
- (3) The gradient of the cumulative frequency curve shows that global daylight illuminance, sky light illuminance and direct sunlight illuminance are often lower in Gävle than in Osaka.
- (4) Global daylight illuminance, sky light illuminance and direct sunlight illuminance in Gävle in June are all higher than those in Osaka in March and October when the culmination altitude of the sun is almost the same as that in Gävle in June.
- (5) On fine days, global daylight illuminance reaches about 100,000 lx in June, March and October in Osaka. In Gävle, however, it does not even reach 90,000 lx on fine days in June. When direct sunlight illuminance is 80,000 lx, global daylight illuminance in Gävle is about 90,000 lx while that in Osaka is about 100,000 lx in June, March and October.
- (6) When direct sunlight illuminance is near 80,000 lx, sky light illuminance in Gävle is lower than 9,000 lx in June. In comparison, sky light illuminance in Osaka for a direct sunlight illuminance at 80,000 lx is 22,000, 17,000 and 20,000 lx in June, March and October, respectively, which indicates about 2 to 3 times more diffusion light in Osaka than that in Gävle.